



Evaluación de bioaerosoles fungí asociados a un Relleno sanitario ubicado en el Municipio de Tubara, Departamento del Atlántico.

Wendy Beatriz Morgado Gamero

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia

2017

Evaluación del comportamiento bioaerosoles fungí asociados a un Relleno sanitario ubicado en el Municipio de Tubara, Departamento del Atlántico.

Wendy Beatriz Morgado Gamero

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

Ph.D. Carlos Arturo Granada Torres

Línea de Investigación:

Biosistemas integrados

Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2017

Un poco de Ciencia aleja de Dios,
pero mucha ciencia devuelve a él.

Louis Pasteur.

Agradecimientos

Agradezco a la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de la Costa, y al grupo Gestión y sostenibilidad ambiental GESSA, por permitirme los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto; agradezco a la laboratorista Ericka Arbeláez y al semillero de investigación Administración de recursos ambientales por su apoyo en las extensas campañas de monitoreo.

Mis sinceros agradecimientos a mi tutor Carlos Arturo Granada Torres, por su paciencia y compromiso mi proceso de formación.

Resumen

El manejo de los residuos orgánicos en un relleno sanitario es una de las actividades antropogénicas que libera mayor cantidad de esporas de hongos a la atmósfera (Vélez y Camargo 2009); lo que implica una exposición derivada de una actividad laboral sin intención deliberada de utilizar o de manipular un agente biológico (Llorca, *et. al.*, 2013). Dependiendo de su naturaleza, el agente etiológico puede generar distintos síndromes clínicos a quienes estén expuestos (Hurst *et al.*, 2007), representando un riesgo potencial a la salud pública (Izzeddin A *et. al.*, 2011; Vélez-Pereira, A., & Camargo, Y., 2014) de los operarios del relleno y la comunidad cercana. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de los bioaerosoles fungí durante 12 meses, en las etapas de tratamiento de un relleno sanitario ubicado en el departamento del Atlántico; para lo cual se utilizó un impactador por cascada de 6 etapas operado a 28,3 L/min por 5 min con Agar Sabouraud, para registrar las condiciones meteorológicas se utilizó un anemómetro KESTREL 4500. Adicionalmente, para la estimación del riesgo biológico se adoptó la metodología BIOGAVAL. Conforme al modelo de regresión lineal, los resultados indican que la estación con mayor concentraciones fue la celda activa, los aerosoles fungí tendieron a concentrarse en mayor medida en la etapas equipo correspondiente a los bronquios primarios, bronquios secundarios y terminales, siendo *A. fumigatus*, el taxón de mayor predominancia. En cuanto a la evaluación del riesgo biológico por exposición a *Aspergillus fumigatus* y *Penicillium* sp, se obtuvo una valoración que sugiere adoptar medidas preventivas para reducir el riesgo de los operarios del relleno de adquirir infecciones respiratorias o afecciones de la piel.

Palabras clave: inmisión, bioaerosoles fungí, riesgo biológico, dispersión.

Abstract

The waste in a landfill is one of the human activities that release greater amount of fungal spores into the atmosphere (Velez and Camargo 2009); implying an exposure arising from an employment activity without deliberate intent to use or manipulate a biological agent (Llorca, et. al., 2013). Depending on its nature, the etiologic agent may result in different clinical syndromes who are exposed (Hurst et al., 2007), representing a potential risk to public health (Izzeddin A et al, 2011; Vélez-Pereira, A., & Camargo, Y., 2014) of the operators of the landfill and the nearby community. The object of this reearch was to study the behavior of mold airborne for 12 months, in each treatment stages of a landfill located in Departamento del Atlántico. A six-stage cascade impactor was operated in 28.3 L / min for 5 min, using Sabouraud Agar and anemometer KESTREL 4500 was used for the weather conditions. Golden Surfer 11 program was used to stablish the distribution of temporal and spational mold airborne. On the other hand, the estimation of biohazardous was evaluate by the BIOGAVAL methodology. Under the linear regression model, the results indicate that the station more concentrated was the active cell, the molds airborne used to concentrate on the primary, secondary and terminal bronchi according to stages of equipment, at the end, the most predominant taxón was *A. fumigatus*. The results of risk assessment of exposure to airborne of *Aspergillus fumigatus* and *Penicillium* sp, indicate that the landfill management must implement effective preventive measures to reduce the risk of acquiring respiratory infections or skin conditions by the landfill workers.

Keywords: immission, the molds airborne, biological risk, dispersion.

Contenido

Resumen _____	V
Abstract _____	VI
Contenido _____	VII
Lista de figuras _____	IX
Lista de tablas _____	X
Lista de abreviaturas _____	11
Introducción _____	12
Capítulo 1. Problematización _____	14
1.1 Planteamiento del problema _____	14
1.2 Justificación _____	16
Capítulo 2. Objetivos _____	18
2.1 Objetivo general _____	18
2.2 Objetivos específicos _____	18
Capítulo 3. Marco referencial _____	19
3.1 Marco Teórico _____	19
3.1.1 Partículas viables aerotransportables: bioaerosoles _____	19
3.1.2 Aerosoles fungí y su efecto sobre la salud _____	22
3.1.3 Evaluación del riesgo biológico por exposición a bioaerosoles _____	23
3.2 Antecedentes _____	25
3.3 Marco normativo _____	28
3.3.1 Normas internacionales sobre bioaerosoles _____	28
3.3.2. Normas nacionales sobre bioaerosoles _____	29
Capítulo 4. Metodología _____	30
4.1 Área de estudio _____	30
4.1.1 Localización _____	30
4.2 Materiales y métodos para la medición de bioaerosoles fungí _____	31
4.2.1 Método de colecta de bioaerosoles fungí. _____	31
4.2.2 Validación estaciones de monitoreo _____	33
4.2.3 Validación tiempo de colecta _____	34
4.3 Muestreo de bioaerosoles fungí en el área de estudio _____	34
4.3.1 Estaciones de muestreo _____	34
4.3.2 Toma de muestra _____	35
4.4 Análisis de las muestras de bioaerosoles fungí _____	35
4.4.1 Cuantificación e identificación del material _____	35
4.4.2 Determinación de la concentración _____	36
4.5.1 Análisis estadístico _____	36
4.5.2 Concentración de bioaerosoles fungí _____	37
4.5.3 Distribución espaciotemporal _____	37
4.6 Estimación del riesgo por exposición a agentes biológicos _____	37
4.6.1 Determinación de los puestos a evaluar _____	39
4.6.2 identificación del agente implicado _____	39
4.6.3 Cuantificación de las variables determinantes del riesgo _____	39
4.6.4 Cálculo del nivel de riesgo biológico (R) _____	42
4.6.5 interpretación de los niveles de riesgo biológico _____	43
Capítulo 5. Análisis y discusión de resultados _____	44
5.1 Concentración de aerosoles fungí _____	44
5.2 Identificación de los bioaerosoles _____	49
5.3 Distribución espacio-temporal de los bioaerosoles _____	49
5.4 Análisis estadístico de los datos _____	51

5.5 Estimación del riesgo por exposición a agentes biológicos _____	55
5.5.1 Determinación de los puestos a evaluar _____	55
5.5.2 identificación del agente implicado: microorganismo centinela _____	56
5.5.3 Cuantificación de las variables determinantes del riesgo _____	57
5.5.4 Cálculo del nivel de riesgo biológico (R) _____	59
5.5.5 Interpretación de los niveles de riesgo biológico _____	59
Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones _____	61
6.1 Conclusiones _____	61
6.2 Recomendaciones _____	64
Bibliografía _____	66
A. Anexo: encuesta de medidas higiénicas adoptadas _____	74
B. Anexo: matriz calculo nivel de riesgo por exposición a bioaerosoles fungí. _____	77

Lista de figuras

<i>Figura 4. 1. Área de estudio.</i>	30
<i>Figura 4. 2. Etapas del monitoreo con el Impactador de cascada</i>	33
<i>Figura 4. 3. Etapas del monitoreo con el Impactador de cascada</i>	36
<i>Figura 4. 4. Etapas de la evaluación del riesgo biológico según BIOGAVAL</i>	38
<i>Figura 5. 1. Porcentajes de la concentración de bioaerosoles fungí por estaciones.....</i>	47
<i>Figura 5. 2. Distribución de la concentración de bioaerosoles fungí por etapas del impactador.</i>	48
<i>Figura 5. 3. Distribución espacio-temporal de aerosoles fungí en las jornadas de la mañana y tarde, Campañas 1 a la 12. S1: Celda pasiva 1. S2: Piscina de lixiviados. S3: Celda pasiva 2. S4: Celda activa.....</i>	50
<i>Figura 5. 4. Concentración de bioaerosoles fungí en relación a las condiciones de temperatura.....</i>	52
<i>Figura 5. 5. Concentración de bioaerosoles fungí en relación a las condiciones de temperatura.....</i>	52
<i>Figura 5. 6. Concentración de bioaerosoles fungí en relación a las campañas de monitoreo.....</i>	53
<i>Figura 5. 7. Concentración de bioaerosoles fungí en relación a las estaciones de monitoreo. S1: Celda pasiva 1. S2: Piscina de lixiviados. S3: Celda pasiva 2. S4: Celda activa.....</i>	53
<i>Figura 5. 8. Concentración de bioaerosoles fungí en relación a las etapas del impactador.....</i>	54
<i>Figura 5. 9. Concentración de bioaerosoles fungí en relación los taxones encontrados.</i>	55

Lista de tablas

<i>Tabla 4. 1 Estudios que validan el método por impactador por cascada.</i>	31
<i>Tabla 4. 2. Coordenadas de las estaciones (S) de muestreo.</i>	34
<i>Tabla 4. 3. Puntuación según la clasificación del daño.</i>	39
<i>Tabla 4. 4. Puntuación según las vías de trasmisión</i>	40
<i>Tabla 4. 5. Puntuación según la Tasa de Incidencia/ habitante</i>	40
<i>Tabla 4. 6. Puntuación según el porcentaje de vacunación.</i>	41
<i>Tabla 4. 7. Puntuación para la frecuencia de exposición</i>	41
<i>Tabla 4. 8. Puntuación para resultado de las medidas higiénicas adoptadas</i>	42
<i>Tabla 5. 1. Concentración (UFC/m³) de bioaerosoles en el relleno sanitario.</i>	45
<i>Tabla 5. 2. Análisis de Varianza para UFC/m³.</i>	51
<i>Tabla 5. 3. Suma de Cuadrados Tipo III.</i>	51
<i>Tabla 5. 5. Criterios adoptados para la selección de microorganismos centinela bajo la metodología BIOGAVAL, 2013.</i>	56
<i>Tabla 5. 5. Resultados de clasificación del daño</i>	57
<i>Tabla 5. 6. Resultados de clasificación vía de trasmisión</i>	57
<i>Tabla 5. 7. Resultados de clasificación tasa de incidencia en la población</i>	58
<i>Tabla 5. 8. Puntuación para resultado de las medidas higiénicas adoptadas</i>	58
<i>Tabla 5. 9. Calculo del nivel de riesgo biológico</i>	59

Lista de abreviaturas

- AEDHE Asociación de Empresarios del Henares
- ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists
- BIOGAVAL: Manual práctico para la evaluación del riesgo biológico en actividades laborales diversas.
- INVASSAT: Instituto Valenciano de Seguridad y Salud en el Trabajo
- Minsalud: Ministerio de Salud y Protección Social
- INSHT: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
- I.T.: incapacidad temporal
- IRAs: Infección respiratoria aguda
- SIVIGILA: Sistema Nacional de vigilancia en Salud
- UFC: Unidad formadora de colonia

Introducción

Las operaciones que implican agitación o movimiento de los residuos, originan la liberación de microorganismos al aire, especialmente mediante actividades como el transporte y descarga, trituración y volteo del material (Sánchez-Monedero et al., 2006).

La exposición a estos agentes biológicos infecciosos, alérgicos o tóxicos, está asociada a su presencia y dispersión en forma de bioaerosol, siendo una suspensión de partículas de origen biológico en el aire, de composición variable que puede incluir: microorganismos (virus, bacterias y hongos) vivos o muertos, fragmentos y metabolitos procedentes o liberados por los mismos (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT, 2014). Según Llorca, et. al., 2013, la eliminación de residuos no peligrosos, implica una exposición derivada de *una actividad laboral sin intención deliberada de utilizar o de manipular un agente biológico*; dependiendo de su naturaleza, el agente etiológico puede generar distintos síndromes clínicos a quienes estén expuestos (Hurst et al., 2007), representando un riesgo potencial a la salud pública (Izzeddin A et. al., 2011; Vélez-Pereira, A., & Camargo, Y., 2014) de los operarios del relleno y la comunidad cercana.

En este sentido, es necesario la evaluación del comportamiento de los aerosoles fungí asociados a los sistemas de disposición final de residuos sólidos; así como la estimación del riesgo biológico asociado a la exposición no deliberada de los operarios a los bioaerosoles fungí en aras de establecer medidas que mitiguen los escenarios de riesgos y repercutan en una mejor calidad de vida de los trabajadores desde el punto de vista de salud. El sistema de disposición final objeto de estudio, consiste en un relleno sanitario localizado a 15 kilómetros de Barranquilla, en la vía Juan Mina-Tubará a 5 kilómetros del Corregimiento de Cuatro Bocas; sobre un área total de 135 hectáreas, 75 son destinadas para la disposición de aproximadamente 1.300 toneladas diarias de desechos sólidos municipales. El relleno sanitario cuenta con una zona de descargue de residuos, los cuales son esparcidos y compactados (celda activa), las terrazas de las celdas de disposición generan evacuación de gases producidos por la degradación anaerobia de los residuos orgánicos (celdas pasivas), y un sistema de tratamiento con dos piscinas de lixiviados.

El proyecto tuvo una duración de 12 meses comprendidos entre abril de 2015 y abril de 2016, en las etapas de tratamiento de un relleno sanitario; para la medición ambiental de los aerosoles fungí se utilizó un impactador por cascada de 6 etapas operado a 28,3 L/min por 5 min con Agar Sabouraud (Camargo et. al, 2011), para registrar las condiciones meteorológicas se utilizó un anemómetro KESTREL 4500. En cuanto a la

estimación del riesgo biológico se adoptó la metodología BIOGAVAL (Llorca, et. al., 2013). El presente trabajo está consolidado en 6 secciones:

Capítulo 1. Problematización: presenta el escenario a partir del cual se realiza el planteamiento del problema y la justificación del proyecto, incluyendo la pregunta problema.

Capítulo 2. Objetivos: establece los objetivos, general y específicos que orientan la ejecución del proyecto de investigación

Capítulo 3. Marco de referencia: contempla los lineamientos conceptuales, técnicos y normativos del proyecto de investigación, incluyendo los referentes nacionales e internacionales que anteceden este trabajo.

Capítulo 4. Metodología: describe el área objeto de estudio, y relaciona los materiales, equipos y métodos para la medición ambiental de los bioaerosoles fungí y la evaluación del riesgo biológico.

Capítulo 5. Resultados: discute los resultados asociados al análisis estadístico, distribución espacio temporal de la concentración de aerosoles fungí, así como los resultado asociados a estimación del riesgo biológico.

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones: socializa los resultados más relevantes en la medida de las recomendaciones para mejorar en un futuro este tipo de investigaciones.

Capítulo 1. Problematización

1.1 Planteamiento del problema

El manejo de los residuos orgánicos en un relleno sanitario es una de las actividades antropogénicas que libera mayor cantidad de esporas de hongos a la atmósfera (Vélez y Camargo 2009); las operaciones que implican agitación o movimiento de los residuos, originan la liberación de estos microorganismos al aire, especialmente mediante actividades como el transporte y descarga, trituración y volteo del material (Sánchez-Monedero et al., 2006).

La exposición a estos agentes biológicos infecciosos, alérgicos o tóxicos, está asociada a su presencia y dispersión en forma de bioaerosol, siendo una suspensión de partículas de origen biológico en el aire, compuestas por organismos vivos, son mezclas complejas de composición variable, puede incluir: microorganismos (virus, bacterias y hongos) vivos o muertos, fragmentos y metabolitos procedentes o liberados por los mismos (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT, 2014). Según Llorca, et. al., 2013, la eliminación de residuos no peligrosos, implica una exposición derivada de *una actividad laboral sin intención deliberada de utilizar o de manipular un agente biológico*; lo cual se sustenta en estudios realizados que reportan concentraciones de los aerosoles fungí alrededor de 10.000 UFC/m³ (Byeon et al., 2008; Grisoli et al., 2009; Pankhurst et al., 2011). Dependiendo de su naturaleza, el agente etiológico puede generar distintos síndromes clínicos a quienes estén expuestos (Hurst et al., 2007), representando un riesgo potencial a la salud pública (Izzeddin A et. al., 2011; Vélez-Pereira, A., & Camargo, Y., 2014) de los operarios del relleno y la comunidad cercana. Según la American Conference of Governmental Industrial Hygienists, no existen valores límite de exposición, los motivos para esta ausencia están asociadas a que no constituyen una sola entidad, es decir, los bioaerosoles en los lugares de trabajo son generalmente mezclas complejas de muy distintas partículas; la respuesta de los seres humanos a los bioaerosoles puede variar desde efectos inocuos a enfermedades graves, incluso mortales, dependiendo del constituyente de que se trate y de la susceptibilidad de los trabajadores hacia él; por lo tanto, un límite de exposición adecuado para un aerosol determinado puede ser completamente inadecuado para otro; no es posible obtener y evaluar todos los componentes de un bioaerosol utilizando un único método de muestreo; en la actualidad, la información que asocia concentración de bioaerosoles cultivables y contables con los efectos para la salud es, en general, insuficiente para describir las relaciones exposición-respuesta (INSHT, 2014).

Actualmente se carece de instrumentos legales que regulen la concentración de bioaerosoles en el aire; sin embargo, aunque no existen guías o estándares establecidos, algunos expertos y agencias de control ambiental y de la salud tienen diversas opiniones de lo que debe ser un nivel aceptable de aerotransportables viables en el aire. Vélez-Pereira, et. al., (2009) documento que la *American Industrial Hygienist Association (AIHA)*, reportó que no existe un nivel aceptable de esporas de hongos cuando se refiere a un organismo patógeno; que la agencia *Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants (ASIEAC)* consideraba que niveles mayores de 1000 UFC/m³ no eran aceptables; mientras que Godish (2001) argumenta que concentraciones mayores de 1000 UFC/m³ y mayores de 10000 esporas (viables y no viables)/m³ indicaban contaminación (Wonder Makers Environmental Inc., 2001; Vélez-Pereira, et. al., 2009). Únicamente, en el caso de las plantas de compostaje que tratan residuos vegetales al aire libre, la Agencia de Medioambiente del Reino Unido establece como recomendación que todas las plantas de compostaje deberían asegurar que las concentraciones de *Aspergillus fumigatus* a las que esté expuesto un posible receptor en un área de 200 m alrededor de la planta no debe superar el límite de 1000 UFC/m³ (Environment Agency, 2002).

Adicionalmente, son pocos estudios a nivel nacional y local a cerca del comportamiento aerosoles biológicos asociados a sistemas de tratamiento o disposición final de residuos, por ende existe poca información técnica en esta temática, posiblemente porque este tipo de investigaciones resultar demandantes teniendo en cuenta los equipos, insumos, tiempo requerido en campo y laboratorio, así como personal técnico requerido. La referencia más reciente de estudios realizados en la Costa Caribe Colombiana, constituye el trabajo realizado, por la Universidad del Magdalena donde se evaluó la concentración de hongos asociados a procesos en el Relleno Sanitario Palangana, Santa Marta (Camargo et. al., 2011), donde la máxima concentración reportada es del orden de 3 x10³ UFC/m³ identificándose diecinueve géneros, con predominancia de *Aspergillus* spp. (45%), *Penicillium* spp. (23%) y *Geotrichum* spp. (18%). En este sentido, es necesario realizar estudios que suministren información sobre el comportamiento de los bioaerosoles fungí, en las condiciones climáticas de nuestra región, suministrar información que pueda ser utilizada por administración para mejorar su desempeño ambiental y ocupacional, generar interés en las autoridades ambientales competentes y la secretaria de salud pública, promover la difusión de la información en ambientes académicos, mesas de salud ambiental, u otros espacios de discusión.

Conforme al área de interés investigativo, el proyecto se desarrolló en el marco línea de investigación los Biosistemas integrados adscrita a la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. La pregunta de investigación a partir de la problemática planteada fue ¿Cuál es el comportamiento de los aerosoles fungí asociados a un relleno sanitario?; de este se derivaron los siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son los géneros de hongos presentes en las partículas viables biológicas emitidas en el relleno sanitario objeto de estudio?
- ¿Cuál es la concentración de hongos presentes en las partículas viables biológicas emitidas en el relleno sanitario objeto de estudio?

- ¿Cómo es la distribución espacio temporal en el relleno sanitario objeto de estudio?
- ¿Cómo es la influencia de las condiciones meteorológicas del área objeto en el comportamiento de los bioaerosoles fungí?
- ¿Cuál es el nivel de riesgo de los trabajadores por exposición a los bioaerosoles?

El sistema de disposición final objeto de estudio, consiste en un relleno sanitario localizado a 15 kilómetros de Barranquilla, en la vía Juan Mina-Tubará y a menos de 5 Km del corregimiento Cuatro Bocas; el relleno sanitario cuenta con una zona de descargue de residuos, los cuales son esparcidos y compactados (celda activa), las terrazas de las celdas de disposición generan evacuación de gases producidos por la degradación anaerobia de los residuos orgánicos (celdas pasivas), y un sistema de tratamiento con dos piscinas de lixiviados.

1.2 Justificación

La instalación de una planta de tratamiento de residuos orgánicos suele originar la oposición de los habitantes de zonas cercanas; el principal motivo de rechazo ha sido tradicionalmente la emanación de olores, pero en los últimos años ha aumentado el interés por conocer el riesgo biológico que supone para la salud la exposición a los bioaerosoles, o partículas aerotransportables, generadas durante el manejo de los residuos. Las principales actividades generadoras de bioaerosoles en dichos establecimientos son el transporte y descarga de los residuos, su trituración, el volteo de las pilas de compostaje y, por último, el cribado del compost maduro (Sánchez-Monedero et al., 2006). Según Asociación de Empresarios del Henares (2008), se debe considerar la emisión de los bioaerosoles tales como bacterias, hongos, micotoxinas, entre otros; como un impacto relevante en los procesos de tratamiento y disposición de residuos, establece además que deben realizarse mediciones orientadas a controlar los niveles de emisión de los mismos, considerando los riesgos asociados a la salud de los empleados y de los habitantes de zonas circundantes. En este sentido, hay un interés desde el punto de vista técnico, ambiental y de salud pública que motiva a realizar investigaciones orientadas a evaluar el comportamiento de los bioaerosoles, a proponer niveles considerados dentro del rango permisible, y proponer medidas orientadas a prevenir o mitigar la emisión de los mismos.

Alrededor de todo el mundo se han liderado investigaciones orientadas a definir el comportamiento de los bioaerosoles, las fuentes de emisión y las posibles medidas de mitigación o prevención de los mismos, algunos de estos estudios han sido orientados a fuentes antropogénicas tales como plantas de tratamiento de aguas residuales (Ranalli et al., 2000; Bauer et al., 2002; Pascual et al., 2003; Karra & Katsivela, 2007; Korzeniewska et al., 2009; Stellacci et al., 2010; Guo et al., 2014), instalaciones de compostaje (Sykes et al., 2007; Taha et al., 2007; Tamer Vestlund et al., 2014; Sánchez-monedero, 2007), áreas urbanas (Valsan et al., 2015; Uk Lee et al., 2016; Wei et al., 2016), rellenos sanitarios (Huang et al., 2002; Rodríguez et al., 2005; Vélez-Pereira & Camargo, 2009; Breza-Boruta, 2012; Kaźmierczuk & Bojanowicz-Bablok, 2014; Schlosser et al., 2016), entre otros. En plantas de tratamiento de aguas residuales se han reportado

concentraciones de aerosoles fungí entre 140 y 1700 UCF/m³ (Bauer et al., 2002; Li et al., 2011; Guo et al. 2014; Li et al., 2015). Teniendo en cuenta los resultados, se evidencia predominancia de las aerobacterias sobre los aerosoles fúngicos debido a que las bacterias son predominantes en los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales. No obstante, en plantas de compostaje al aire libre, las diferencias no son tan altas, ya que se han reportado concentraciones de aerosoles fungí reportan concentraciones de 10⁴ UFC/m³ (Byeon et al., 2008; Grisoli et al., 2009; Pankhurst et al., 2011).

En Colombia, como en la mayoría de los países latinoamericanos se han generado pocas iniciativas asociadas a investigaciones relacionadas con bioaerosoles en fuentes antropogénicas, específicamente en vertedero de residuos a pesar que es una práctica extendida en todo el territorio; en el año 2002 se realizó un proyecto orientado a determinar los bioaerosoles emitidos desde el Relleno Sanitario Curva de Rodas en Medellín, Antioquia (García, 2002); en el 2009, se realizó un proyecto en el Relleno sanitario Palangana en Santa Marta (Vélez-Pereira et al., 2009); y La Pradera (Lenis et al., 2013). Esto se debe a que los métodos de monitoreo para este tipo de investigación suelen ser costosas y extensas, adicionalmente resultan ser un tanto imprecisos en el momento de reportar los géneros y especies mediante la evaluación filogenética molecular. Por su parte, la Guía Ambiental de Relleno sanitarios (Ministerio de Medio Ambiente MMA, 2002), establece dentro del programa de control y seguimiento ambiental que debe realizarse la medición de bioaerosoles, de forma mensual durante la etapa de operación del relleno. No obstante, hay muchos aspectos de los rellenos sanitarios susceptibles de ser mejorados como lo correspondiente a la evaluación del riesgo a su exposición y la adopción de medidas ocupacionales. Por su parte, Minsalud establece la necesidad de estimar el riesgo a la exposición biológica; mediante la *Guía técnica para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional para el proceso de evaluación en la calificación de origen de enfermedad*, Gutiérrez-Strauss (2011), sugiere como metodología la adopción de los lineamientos del INVASSAT: **Manual práctico para la evaluación del riesgo biológico en actividades laborales diversas. BIOGAVAL** publicado en el 2004. La actualización del 2013, establece la adopción de una metodología simplificada “microorganismos centinelas” como referentes de la exposición, microorganismos presentes habitualmente en la actividad a evaluar y representativos del daño más frecuente capaz de originar. En las actividades sin intención deliberada de utilizar agentes biológicos, determinar su presencia es más complejo. En esta situación es fundamental disponer de información sobre los siguientes aspectos el tipo de actividad laboral desarrollada, los agentes biológicos típicamente asociados a esa actividad, los procedimientos y los equipos de trabajo utilizados y las características del lugar de trabajo.

Este proyecto fue financiado por la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de la Costa, en alianza con la sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla (Triple A); contó con la participación del grupo de Gestión y Sostenibilidad ambiental GESSA de la Universidad de la Costa y el Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad de Manizales.

Capítulo 2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento de aerosoles fungí asociados a un sistema de disposición final de residuos sólidos municipales, en el Departamento de Atlántico.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar los diferentes géneros y las concentraciones aerosoles fungí asociados al sistema de residuos sólidos municipales objeto de estudio.
- Establecer la distribución espacio temporal de los aerosoles fungí asociados al sistema de residuos sólidos municipales objeto de estudio.
- Estimar la exposición al riesgo biológico del personal asociado a las celdas activas y pasivas

Capítulo 3. Marco referencial

3.1 Marco Teórico

3.1.1 Partículas viables aerotransportables: bioaerosoles

Las partículas viables aerotransportables (bioaerosoles), se definen como partículas que se encuentran suspendidas en el aire y que contienen organismos vivos tales como bacterias, virus, hongos, polen e incluso insectos muy pequeños o sus desechos (Huang, et al., 2002). Estas partículas pueden variar en tamaño desde los virus de menos de 0.1 micrómetro de diámetro, hasta las esporas de hongos de más de 100 micrómetros de diámetro (Canup, 2000). En estas partículas aéreas se pueden encontrar los microorganismos (cultivables, contables y los microorganismos muertos), y los fragmentos, toxinas y partículas procedentes de desechos de cualquier índole, cuyo origen es la materia viva (Hernández, 2009). Entre estos agentes se pueden incluir las partículas de origen biológico (bacterias, hongos, polen, virus y otros subproductos), endotoxinas y micotoxinas, y excreciones o partes de insectos, escamas de piel, pelos, entre otros (Hernández, 1999).

La atmósfera presenta clima inhóspito para los microorganismos, principalmente debido al estrés por desecación, por lo cual sólo cuentan con un lapso de tiempo limitado para permanecer biológicamente activos (Pepper & Gerba, 2015); sin embargo, en la atmósfera existe la presencia de gases como el nitrógeno y oxígeno, que le permite a un gran variedad de organismos utilizarla como su medio de transporte (Camargo, 2011). Teniendo en cuenta lo anterior, los bioaerosoles están siempre presentes en la atmósfera, aunque su número y viabilidad varíen con las condiciones propias de la localidad (Rosas et al., 2004; Camargo et al., 2011). La mayoría de los microorganismos que entran a la atmósfera provienen de fuentes naturales como la vegetación, el suelo y los cuerpos de agua por acciones como combustión, erupción de un volcán, tormentas de polvo, lluvias y vientos, y en menor proporción de las actividades antropogénicas (Camargo et al., 2011). Una vez que los microorganismos se encuentran en suspensión en el aire en forma de bioaerosoles, su comportamiento aerodinámico va a estar gobernado por sus propiedades físicas (forma, tamaño y densidad) y las condiciones medioambientales como las corrientes de aire, humedad, temperatura, etc. (Sánchez-Monedero et al., 2006).

El material biológico es uno de los contaminantes atmosféricos que impactan la calidad del aire, sin embargo no se puede establecer modelos predictivos de su comportamiento debido a que se deben tener en cuenta variables tales como la tasa de decaimiento de la partícula, la viabilidad del microorganismo, y su composición variable. Entre las

propiedades que rigen el comportamiento aerodinámico de las partículas en el aire se encuentra el tamaño. Por muy pequeñas que sean las partículas, el movimiento Browniano es un factor importante en la difusión en el aire de las partículas inferiores, ya que éstas interactúan debido a la gravedad, siendo la difusión de las partículas en el aire fuertemente influenciada por las fuerzas Brownianas, dado que su trayectoria en el aire no es una vía recta hacia abajo, sino una dispersión irregular, como resultado del movimiento Browniano (Valenzuela, 1995; Gibney, 2000). Por otro lado, las fuerzas gravitacionales que modulan el comportamiento de las partículas son dos fuerzas opuestas: la primera corresponde a la sedimentación denominada fuerza gravitacional de sedimentación, resultado de la acción atractiva de la gravedad de la tierra sobre la masa de la partícula, y la segunda se atribuye a la fuerza de empuje del aire, y se atribuye a la viscosidad del fluido suspendido en el aire (masas de aire). La expresión matemática que describe el comportamiento de las sumatorias de estas dos fuerzas se conoce como la velocidad de sedimentación (Gnanasekharan & Floros, 1995).

El transporte de bioaerosoles se rige principalmente por factores hidrodinámicos y cinéticos, mientras que su viabilidad depende de la composición biológica específica, composición química, y los parámetros meteorológicos a los que están expuestos (Mohr, 2002; Hurst et al., 2007). La gran mayoría de los microorganismos en el aire son inmediatamente inactivados debido al estrés ambiental que actúan para alterar la composición de la superficie exterior (Mohr, 2002). Sin embargo viabilidad del bioaerosol varía dependiendo del tamaño de la partícula, la tasa de supervivencia del microorganismo de forma individual, y la mezcla de microorganismos en la partícula y las posibles relaciones sintróficas que puedan generarse, los factores nutricionales y ambientales juegan un papel importante a la hora de explicar un modelo estadístico sobre el comportamiento de los bioaerosoles algunos de los factores ambientales más estudiados son la humedad relativa, radiación solar, temperatura y concentración de oxígeno (Cox, 1995); no obstante no son los únicos factores que influyen en el comportamiento. Adicionalmente, tendría que tenerse en cuenta los factores moleculares, específicamente de biología molecular, asociadas a la resistencia de ciertos microorganismos a condiciones ambientales, mediante la transferencia de plásmidos, así como la información genética en el cromosoma central; aunque algunas generalidades se pueden hacer en relación con la estabilidad del aerosol o el destino de los microorganismos (Mohr, 2002), se requiere establecer la filogenia molecular, un aspecto a que influye en el comportamiento de las partículas aerotransportables, y que por tanto debe ser incluidos en este tipo de estudios.

Un factor fundamental para la supervivencia del bioaerosoles se encuentran asociado a la actividad de agua y por lo tanto, a la humedad relativa. A medida que disminuye la humedad relativa, también lo hace el agua disponible para el medio ambiente exterior del microorganismo, causando la deshidratación, lo que resulta en la prolongación de un estado de latencia de la mayoría de los microorganismos. Esto es fácilmente comprobable (Israelí *et al.* 1994). Esto ocurre porque la membrana celular, en forma de bicapas de fosfolípidos, se somete a cambios de conformación de una fase cristalina a una fase de gel como resultado de la pérdida de agua. Estas transformaciones inducen cambios a las proteínas celulares, que a su vez resulta en una pérdida de viabilidad. No sólo es el contenido de agua de los microorganismos en aerosol un factor principal que contribuye a la viabilidad del aerosol (Webb, 1965). El tamaño, la forma y la densidad de una partícula de aerosol están directamente relacionados con el diámetro aerodinámico

que determina la velocidad de sedimentación y la ubicación de deposición en el tracto respiratorio e influye en la eficiencia de la recogida de muestras de aerosol. Los efectos de la humedad relativa pueden ser influenciados por el contenido del fluido de suspensión utilizado antes de la aerosolización (Barlow, 1972), el contenido del fluido de recogida (Cabelli, 1962), y prehumidificación (Warren et al., 1969). Para algunos microorganismos, los cambios en la humedad relativa después de la aerosolización tienen un efecto más profundo en la estabilidad del aerosol que la humedad relativa constante (Hatch & Dimmick, 1966). En este sentido, tanto la presión de vapor, como la humedad relativa de un sistema, dependen de la temperatura. Esta relación hace que sea muy difícil separar los efectos de la temperatura y de la humedad relativa. Estudios para determinar el efecto de la temperatura sobre la estabilidad del aerosol han demostrado generalmente que los aumentos en la temperatura tienden a disminuir la viabilidad de los microorganismos en el aire. Además, las células congeladas tienden a perder proteínas celulares (permeasa) que dan lugar a tasas de inactivación de aerosol elevadas (Mohr, 2002).

El oxígeno es uno de los elementos más abundantes de la atmósfera y ha sido tomado como referencia para la clasificación de los microorganismos, existiendo microorganismos aerobios y anaerobios, y dentro de esta clasificación se pueden dar distintas diferenciaciones tales como anaerobios estrictos, anaerobios facultativos, aerotolerantes, microaerofílicos, entre otros. Algunos de los factores ambientales asociados al daño del ADN de los microorganismos, son los radicales de hidróxido, la radiación UV (Pepper & Gerba, 2015). Los microorganismos, especialmente los hongos ambientales han desarrollado mecanismos de pigmentos para proteger su material genético del efecto de la radiación UV, este mecanismo es característico de los hongos dematiáceos. El tipo, especie o cepa de un microorganismo afecta a su supervivencia en el aire. Diversos estudios mostraron que el aire atmosférico producía un mayor grado de inactivación que el aire inerte obtenido en el laboratorio. La causa podría ser las reacciones entre el ozono y las olefinas debido a una combinación de factores que incluyen concentración de contaminantes e iones en el aire, humedad y fluctuaciones de la presión, al conjunto de los cuales se les llama factores del aire abierto (Mohr, 2002). Cuando los organismos son estresados por aerosolización, frío, calor, congelación, radiación, contaminación química o choque osmótico, pueden morir o ser dañados, aunque otros pueden permanecer aparentemente sin resentir sus efectos. Las bacterias dañadas son importantes ya que no son capaces de crecer en medios de cultivo (viables no cultivables) como lo harían las especies no dañadas; sin embargo, éstas se podrían reproducir al encontrar un ambiente adecuado, obteniendo suplementos metabólicos que les permitirían reparar el daño sufrido y así poderse reproducir. De tal forma que la supervivencia de una bacteria al ser estresada, dependerá de su capacidad de reparar sus funciones biológicas afectadas y podría mencionarse de manera general que lo realizan a través de dos tipos de procesos, los físico-químicos y los enzimáticos (dependiente de energía) (Rosas, et al., 2004). La velocidad del viento y la dirección del viento no es un aspecto relacionada con la supervivencia del microorganismo, estas variables están más bien relacionadas con la dispersión del bioaerosol, en este sentido es importante obtener datos locales y constantes del área de estudio con el fin de poder incluir esta variable, dentro del modelo estadístico, que explique el comportamiento del bioaerosol.

3.1.2 Aerosoles fungí y su efecto sobre la salud

Los aerosoles fungí se pueden encontrar en el aire y están entre los organismos más comunes en la naturaleza (Fang et al., 2005). La concentración de aerosoles fungí puede variar de un lugar a otro, basado en las variables ambientales del lugar, substratos de crecimiento fúngico, y en la actividad humana (Adhikari et al., 2004). Algunos pueden causar infecciones denominadas micosis, penetrando por vía aérea o cutánea. Algunos son cosmopolitas y otros están delimitados a zonas endémicas (Arenas, 2011).

Los hongos pueden causar afecciones mediante tres mecanismos fundamentales: la primera, mediante reacciones inmunitarias que pueden resultar en reacciones alérgicas (hipersensibilidad) después de la exposición de los antígenos del hongo, la exposición a los hongos, mientras estos crecen en el hospedador o en el ambiente, pueden causar síntomas alérgicos cuando ocurre una re-exposición; el segundo mecanismo por el que los hongos pueden producir enfermedades es el relacionado con la producción de micotoxinas un amplio y diverso grupo de exotoxinas fúngicas, que pueden ser muy tóxicas, inclusive inducir a la aparición de tumores; el tercer mecanismo de los hongos para producir enfermedades se da a través de la infección, el crecimiento de hongos en el cuerpo denominado micosis pueden variar de severidad desde infecciones superficiales prácticamente inocuas, hasta enfermedades que comprometen la vida (Madigan, et. al., 2004). Las micosis pueden clasificarse en función del tejido infectado en micosis superficiales, subcutáneas y sistémicas (Vilata, 2006; Prats, 2006; Murray et al., 2009; Arenas, 2011). Las micosis superficiales son infecciones de la capa queratinizada de la piel, cabello y uñas. No son destructivas y tan sólo revisten importancia desde el punto de vista estético. Ejemplo de ello son la infección clínica conocida como pitiriasis versicolor se caracteriza por la decoloración o despigmentación y descamación de la piel. Y la tiña negra que produce lesiones maculares de color marrón a negro localizadas fundamentalmente en las palmas de las manos (Murray et al., 2009).

En este grupo pueden distinguirse micosis superficiales inflamatorias y no inflamatorias, según desencadenen o no esta respuesta en el organismo infectado. Las micosis superficiales no inflamatorias incluyen la pitiriasis versicolor, la piedra blanca y negra y la tiña negra. Las inflamatorias comprenden las dermatofitosis o tiñas, las candidosis superficiales e infecciones superficiales por hongos filamentosos no dermatófitos (Vilata, 2006). Las micosis subcutáneas agrupan a un conjunto muy heterogéneo de infecciones fúngicas producidas por hongos taxonómicamente muy diversos, que generalmente alcanzan el tejido celular subcutáneo por inoculación traumática. Son procesos habitualmente limitados a la piel y al tejido celular subcutáneo, que evolucionan muy lentamente formando granulomas o queloides, sin que suela existir diseminación sistemática. Ejemplos de estas micosis son esporotricosis, micetoma y cromoblastomicosis (Prats, 2006). En las micosis sistémicas se produce una infección de órganos internos y en muchos casos una diseminación hematógena. En algunas de ellas la piel puede ser el foco inicial de ésta o afectarse secundariamente. Pueden dividirse en micosis respiratorias endémicas y micosis sistémicas oportunistas. Las micosis respiratorias endémicas generalmente están limitadas a áreas geográficas concretas y la infección se produce por inhalación, tal es el caso de la histoplasmosis, la coccidioomicosis y la blastomicosis (Vilata, 2006).

Las micotoxinas son peligrosas para los seres humanos y animales, si son ingestadas, inhaladas o si entran en contacto con la piel. Las micotoxinas pertenecen químicamente a los alcaloides, ciclopéptidos y cumarina (Cano et. al., 2010). *Aspergillus versicolor* y especies de *Penicillium*, *Furasarium*, *Trichoderma*, *Cephalosporium*, *Chaetomium*, y *Stachybotrys* son conocidos por producir naturalmente metabolitos potentes, dependiendo de los nutrientes disponibles, condiciones ambientales favorables, o sus ciclos de vida. Un número limitado de más de 400 micotoxinas conocidas han sido estudiadas y se encontró que tienen importantes propiedades genotóxicas, mutagénicas, citotóxicas, carcinogénicas, neprotóxicas, pseudoestrogénicas, inmunodepresoras, entre otras. Se han reportado e investigado distintos efectos a la salud causadas por distintas micotoxinas fúngicas (Hurst et al., 2007).

3.1.3 Evaluación del riesgo biológico por exposición a bioaerosoles

- **Actividades laborales asociadas a bioaerosoles fungí**

Algunos países, como España, contemplan a los bioaerosoles como contaminantes ambientales de procedencia biológica, asociados en algunos casos a actividades laborales, incluso en aquellos que no hay una manipulación deliberada de los microorganismos tales como centros de producción de alimentos, ambientes agrarios, contacto con animales o con productos de origen animal, instalaciones depuradoras de aguas residuales y tratamiento y eliminación de residuos. En este sentido, se requiere estimar los riesgos ocupacionales asociados a la exposición de micoorganismos y adoptar medidas con el fin de proteger la salud de los trabajadores.

Según el tipo de actividades se pueden distinguir dos situaciones: **la exposición derivada de una actividad laboral con intención deliberada de utilizar o manipular un agente biológico, lo que constituye el propósito principal del trabajo**; es decir, el cultivo, la manipulación o la concentración de agentes biológicos ya sea a niveles industriales o experimentales, o con fines de investigación, comercial o terapéutico; y **la exposición derivada de una actividad laboral que no implica una intención deliberada de utilizar o de manipular un agente biológico, pero que puede conducir a la exposición**; casos que tratan una exposición potencial a agentes biológicos ya que la exposición es incidental al propósito principal del trabajo, los agentes biológicos no forman parte del proceso productivo, pero pueden ir asociados al mismo debido a la naturaleza de la actividad (sanitaria, contacto con animales, etc.) o a las condiciones en que se desarrolla la actividad (temperatura, humedad, disponibilidad de nutrientes, etc.), que favorecen su proliferación (INSHT, 2014). Según Llorca, et. al., (2013), algunas de las actividades donde pueden generarse bioaerosoles corresponde a:

1. Trabajos en centros de producción de alimentos.
2. Trabajos agrarios
3. Actividades en las que existe contacto con animales o con productos de origen animal.
4. Trabajos en unidades de eliminación de residuos.
5. Trabajos en instalaciones depuradoras de aguas residuales.

- **Determinación ambiental**

El INSHT (2014), contempla En actividades sin intención deliberada de utilizar agentes biológicos, y principalmente en aquellas con una potencial exposición a agentes biológicos con efectos alérgicos y tóxicos, la determinación ambiental puede ser de utilidad para lo siguiente:

1. Comprobar la presencia de determinados agentes biológicos en el lugar de trabajo,
2. Identificar fuentes de contaminación,
3. Conocer la intensidad de la exposición y del riesgo de exposición por inhalación
4. Verificar la eficacia de las medidas preventivas adoptadas en cada situación.

En cualquier caso, no se debe considerar una evaluación cuantitativa de los riesgos de exposición ya que no existen valores límite de exposición profesional con los que comparar los resultados obtenidos (IRSST, 2007). Esta evaluación deberá repetirse periódicamente y, en cualquier caso, cada vez que se produzca un cambio en las condiciones que pueda afectar a la exposición de los trabajadores a agentes biológicos. Asimismo se procederá a una nueva evaluación del riesgo cuando se haya detectado en algún trabajador una infección o enfermedad que se sospeche que sea consecuencia de una exposición a agentes biológicos en el trabajo.

▪ **Muestreo**

La medición ambiental persigue evaluar la exposición o determinar la composición biológica de un ambiente en diferentes puntos, momentos del día o periodos de tiempo (estaciones) y es la que se ha desarrollado con más amplitud. Estas metodologías de muestreo permiten obtener tanto los bioaerosoles cultivables (bacterias y hongos que pueden crecer en un medio de cultivo), cuyo resultado se indica como “unidades formadoras de colonias” (UFC), como los bioaerosoles contables (esporas fúngicas, células bacterianas y otras estructuras) que pueden identificarse y contarse mediante microscopía, como sustancias determinables por ensayos bioquímicos, genéticos, etc. Ocasionalmente, el estudio ambiental detecta un único agente predominante; sin embargo, normalmente lo que se detecta es una mezcla de microorganismos. En cualquier caso, el muestreador utilizado debe tener una eficacia de muestreo conocida y documentada, por ejemplo, posibilidad de muestrear la totalidad de microorganismos, los microorganismos viables o los componentes microbianos (INSHT, 2014).

▪ **Análisis de las muestras: medios de cultivo**

Se trata de una metodología muy empleada para la evaluación de microorganismos vivos. El método permite el recuento de los microorganismos viables y cultivables, es decir, capaces de crecer en un medio de cultivo (Madigan, et. al., 2004). La toma de

muestras ambiental de los bioaerosoles se puede realizar tanto por impacto como por borboteo o por filtrado (INSHT, 2014).

- **Clasificación de agentes biológicos**

Para efectos de lo dispuesto en el Real Decreto 664, de 12 de mayo (Gobierno de España, 1997), sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo, los agentes biológicos se clasifican, en función del riesgo de infección, en cuatro grupos:

- **Agente biológico del grupo 1:** aquél que resulta poco probable que cause una enfermedad en el hombre.
- **Agente biológico del grupo 2:** aquél que puede causar una enfermedad en el hombre y puede suponer un peligro para los trabajadores, siendo poco probable que se propague a la colectividad y existiendo generalmente profilaxis o tratamiento eficaz.
- **Agente biológico del grupo 3:** aquél que puede causar una enfermedad grave en el hombre y presenta un serio peligro para los trabajadores, con riesgo de que se propague a la colectividad y existiendo generalmente una profilaxis o tratamiento eficaz.
- **Agente biológico del grupo 4:** aquél que causando una enfermedad grave en el hombre supone un serio peligro para los trabajadores, con muchas probabilidades de que se propague a la colectividad y sin que exista generalmente una profilaxis o un tratamiento eficaz.

- **Evaluación del riesgo biológico**

Esta evaluación deberá repetirse periódicamente y, en cualquier caso, cada vez que se produzca un cambio en las condiciones que pueda afectar a la exposición de los trabajadores a agentes biológicos. Asimismo se procederá a una nueva evaluación del riesgo cuando se haya detectado en algún trabajador una infección o enfermedad que se sospeche que sea consecuencia de una exposición a agentes biológicos en el trabajo. Si los resultados de la evaluación pusieran de manifiesto un riesgo para la seguridad o la salud de los trabajadores por exposición a agentes biológicos, deberá evitarse dicha exposición. Cuando ello no resulte factible por motivos técnicos, habida cuenta de la actividad desarrollada, se reducirá el riesgo de exposición al nivel más bajo posible para garantizar adecuadamente la seguridad y la salud de los trabajadores afectados, por medio de medidas. Cuando la actividad no implica la intención deliberada de manipular agentes biológicos o de utilizarlos en el trabajo pero puede provocar la exposición de los trabajadores a dichos agentes, los elementos básicos para conseguir reducir la exposición a niveles mínimos serán la aplicación de buenas prácticas de trabajo y las medidas de protección tanto colectiva como individual ((INSHT, 2014).

3.2 Antecedentes

El manejo de los residuos orgánicos en un relleno sanitario, es una de las actividades antropogénicas generadoras de partículas aerotransportables de origen biológico debido a que liberan una gran cantidad de microorganismos a la atmósfera (Vélez-Pereira et al., 2009). La instalación de una planta de tratamiento de residuos orgánicos suele originar la oposición de los habitantes de zonas cercanas; el principal motivo de rechazo ha sido

tradicionalmente la emanación de olores, pero en los últimos años ha aumentado el interés por conocer el riesgo biológico que supone para la salud la exposición a los bioaerosoles, o partículas aerotransportables, generadas durante el manejo de los residuos. Las principales actividades generadoras de bioaerosoles en dichos establecimientos son el transporte y descarga de los residuos, su trituración, el volteo de las pilas de compostaje y, por último, el cribado del compost maduro (Sánchez-Monedero et al., 2006). Según Asociación de Empresarios del Henares (2008), se debe considerar la emisión de los bioaerosoles tales como bacterias, hongos, micotoxinas, entre otros; como un impacto relevante en los procesos de tratamiento y disposición de residuos, establece además que deben realizarse mediciones orientadas a controlar los niveles de emisión de los mismos, considerando los riesgos asociados a la salud de los empleados y de los habitantes de zonas circundantes. En este sentido, hay un interés desde el punto de vista técnico, ambiental y de salud pública que motiva a realizar investigaciones orientadas a evaluar el comportamiento de los bioaerosoles, a proponer niveles considerados dentro del rango permisible, y proponer medidas orientadas a prevenir o mitigar la emisión de los mismos.

A nivel internacional, diversos estudios han analizado el comportamiento de los bioaerosoles y su concentración en distintos ambientes, tales como plantas de tratamiento de aguas residuales (Ranalli et al., 2000; Bauer et al., 2002; Pascual et al., 2003; Karra & Katsivela, 2007; Korzeniewska et al., 2009; Stellacci et al., 2010; Guo et al., 2014), instalaciones de compostaje (Sykes et al., 2007; Taha et al., 2007; Tamer Vestlund et al., 2014; Sánchez-monedero, 2007), áreas urbanas (Valsan et al., 2015; Uk Lee et al., 2016; Wei et al., 2016), rellenos sanitarios (Huang et al., 2002; Rodríguez et al., 2005; Vélez-Pereira & Camargo, 2009; Breza-Boruta, 2012; Kaźmierczuk & Bojanowicz-Bablok, 2014; Schlosser et al., 2016), entre otros. En plantas de tratamiento de aguas residuales se han reportado concentraciones de aerosoles fungí entre 140 y 1700 UFC/m³ (Bauer et al., 2002; Li et al., 2011; Guo et al. 2014; Li et al., 2015). Teniendo en cuenta los resultados, se evidencia predominancia de las aerobacterias sobre los aerosoles fúngicos debido a que las bacterias son predominantes en los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales. No obstante, en plantas de compostaje al aire libre, las diferencias no son tan altas, ya que se han reportado concentraciones de aerosoles fungí reportan concentraciones de 10⁴ UFC/m³ (Byeon et al., 2008; Grisoli et al., 2009; Pankhurst et al., 2011).

En rellenos sanitarios, los estudios arrojaron valores de bacterias y hongos viables por encima de 10³ UFC/m³, reportando valores hasta de 68312 UFC/m³, lo cual indica que existe un posible riesgo debido al tipo de fuente emisora (Huang et al., 2002; Rodríguez et al., 2005; Heo et al., 2010; Schlosser et al.; 2016). Dentro de estos valores se resalta el hecho que *Aspergillus fumigatus* se ha reportado como predominante en las emisiones con valores hasta de 9300 UFC/m³. Schlosser et al. (2016) registró un promedio geométrico, para la concentración de mohos mesofílicos en época seca, de 13000 UFC/m³ en un relleno sanitario de Francia e inclusive para el caso de *Aspergillus fumigatus* obtuvo un valor máximo de 9300 UFC/m³. Asimismo, en una investigación realizada en México, se llegó a reportar valores de bioaerosoles de hasta 68312 UFC/m³, teniendo en cuenta la fuente emisora y las especies encontradas, se considera un riesgo para la salud dada la cronicidad o gravedad de las enfermedades que se pueden desarrollar por la respiración de dichos organismos (Rodríguez et al, 2005).

Las concentraciones encontradas en los rellenos, resultan ser bastante altas, tal y como ha sido comprobado por Heo et al. (2010) al comparar las aerobacterias en un relleno sanitario y un campo de maíz, siendo las primeras 6 veces mayores que la segunda fuente de estudio. Hay afirmaciones que plantean que las concentraciones de bioaerosoles fungí en rellenos sanitarios, se pueden ver afectadas por la abundante vegetación de las áreas circundantes, por lo cual se deben incluir estaciones de monitoreo como fuentes potenciales de emisión; sin embargo en el estudio de Fraćzek et al. (2014), que monitoreo 10 estaciones ubicadas estratégicamente en un relleno sanitario de Polonia, entre las cuales se incluyó la celda activa, las celdas pasivas, piscinas de lixiviados, área urbana alejada del relleno sanitario, área circundante con abundante vegetación, entre otros; los resultados obtenidos indican que las etapas de tratamiento con mayores concentraciones registradas son la celda activa y una celda pasiva ubicada de manera contigua a la activa, mientras que los reportes más bajos se presentaron en la estación localizada en el área urbana alejada del relleno sanitario. Así mismo, Kaźmierczuk & Bojanowicz-Bablok (2014) plantean que a medida que aumenta la distancia con respecto al relleno sanitario disminuye la concentración de los bioaerosoles con valores en el relleno de 850 UFC/m³ y de 30 UFC/m³ a 800m del relleno.

En Colombia, las investigaciones relacionadas con bioaerosoles en rellenos sanitarios han sido pocas; en el año 2002 se realizó un proyecto orientado a determinar los bioaerosoles emitidos desde el Relleno Sanitario Curva de Rodas en Medellín, Antioquia (García, 2002); en el 2009, se realizó un proyecto en el Relleno sanitario Palangana en Santa Marta para evaluar la concentración de bioaerosoles fungí, este estudio reportó concentraciones de hongos respirables, alrededor de 3x10³ UFC/m³ (Vélez-Pereira et al., 2009); entre los años 2010 y 2012, se llevó a cabo la evaluación de bacterias mesófilas y hongos en el relleno sanitario La Pradera, reportando un valor promedio para hongos de hasta 1728 UFC/m³ y bacterias mesófilas con concentración máxima promedio de 1545 UFC/m³ (Lenis et al., 2013).

En cuanto a evaluación de la exposición a riesgo biológico, Ballesteros *et. al.*(2008), identificaron los factores de riesgo biológicos a los que están expuestos los recicladores informales del Bazar de los Puentes de la ciudad de Medellín, señalando que el proceso de descomposición genera aerosoles que pueden contener partículas de microorganismos nocivas para la salud humana; en Ecuador en 2016, Andache & Córdova trabajaron en la elaboración de instructivos de seguridad industrial para puestos de trabajo basados en un estudio aerobiológico del relleno sanitario de la Empresa Pública Municipal Gestión Integral de Desechos Sólidos Ambato, dicho estudio tuvo en cuenta dos zonas de descarga (desechos comunes y hospitalarios), relacionando variables que afectan el crecimiento microbiano y la interacción con los trabajadores como lo son las horas y días de muestreo. Por su parte, España tiene importantes avances técnicos y normativos, a partir de Real decreto 664 de 12 de mayo 1997 y la respectiva Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos relacionados con la Exposición a Agentes Biológicos del 2014 (NSHT, 2014); es importante resaltar que al guía técnica contempla aspectos importantes de los escenarios de riesgos, actividades, monitoreos ambientales, organismos por actividades y sus efectos, pero no establece la metodología para cuantificar el riesgo, en sentido el *Manual práctico para la evaluación del riesgo biológico en actividades laborales diversas*. BIOGAVAL elaborado por INVASSAT, establece un método cualitativo (Llorca, *et. al.*, 2013).

3.3 Marco normativo

3.3.1 Normas internacionales sobre bioaerosoles

La exposición a bioaerosoles, a diferencia de la exposición a sustancias químicas, no tiene valores límites umbral (TLVs) para evaluar el impacto en la salud o efectos tóxicos, debido a la complejidad en su entidad, las variaciones en la respuesta humana a la exposición y las dificultades en la recuperación de los microorganismos que pueden suponer riesgo durante el muestreo de rutina (Srikanth et al., 2008). Actualmente no existen límites legales que regulen la exposición a bioaerosoles en lugares de trabajo pero si se cuenta con guías técnicas que incluyen la clasificación de agentes biológicos, como la mencionada Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos relacionados con la Exposición a Agentes Biológicos del real decreto 664/1997, de 12 de mayo.

En España, el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales y el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo han desarrollado Notas Técnicas de Prevención (NTPs), guías de buenas prácticas en el trabajo, que incluyen indicaciones que no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. Dentro de este grupo, se destacan varias guías dedicadas a la medición de agentes biológicos como lo son:

- NTP 299: Método para el recuento de bacterias y hongos en aire.
- NTP 409: Contaminantes biológicos: criterios de valoración.
- NTP 608: Agentes biológicos: planificación de la medición.
- NTP 609: Agentes biológicos: equipos de muestreo (I).

(NTP 299, 1997) expone la metodología correspondiente a la toma, transporte y conservación de muestras de aire para la determinación de bacterias y hongos, así como el fundamento del método analítico, su campo de aplicación y sus limitaciones. Se encuentra además, la fórmula para determinar la concentración de bioaerosoles; en la cual, una vez determinado el número de colonias, y sabiendo el flujo de aire y el tiempo de muestreo que se ha aplicado, se puede calcular el número de unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire multiplicando el número de colonias entre mil y dividiendo el resultado entre la multiplicación entre el flujo de aire y el número de unidades de tiempo empleados para el muestreo.

(NTP 409, 1997) se exponen algunas razones por las cuales se hace difícil establecer criterios de valoración numéricos que permitan interpretar de forma sencilla la exposición a contaminantes biológicos y se proporcionan unas guías básicas que faciliten la evaluación de esas exposiciones.

(NTP 608, 2001) muestra la planificación de la medición para llevar a cabo una correcta evaluación de la exposición a agentes biológicos en lugares de trabajo; destaca que los efectos de la exposición a agentes biológicos son consecuencia de dos situaciones diferentes; en un caso, ocurren tras la existencia de un accidente laboral, habitualmente declarado, investigado y con causas que casi siempre se pueden determinar,; en el otro caso, los efectos son fruto de una exposición laboral más propia de las estudiadas por la

higiene industrial, como es la exposición a agentes químicos, en la que un agente contaminante puede estar presente en el ambiente, en una concentración indeterminada que puede o no causar un daño en la salud de las personas.

(NTP 609, 2001) se describen los requisitos que deben cumplir los distintos equipos de toma de muestras de agentes biológicos. Asimismo, se describen los diferentes principios de captación de partículas y las principales características de los equipos de muestreo más frecuentemente utilizados.

3.3.2. Normas nacionales sobre bioaerosoles

La dificultad en establecer unos límites máximos de exposición se debe a la complejidad de los componentes de los bioaerosoles (bacterias, hongos, restos de microorganismos, su viabilidad, sustancias excretadas por ellos, etc.), la falta de información sobre las dosis infectiva de muchos de los agentes biológicos y la distinta respuesta de los individuos a un mismo agente biológico (INSHT, 1996).

En Colombia, no existe norma alguna que exponga los límites máximos de exposición a biocontaminantes; incluso, en las normas técnicas no es mencionado el monitoreo de bioaerosoles en interiores o exteriores. Los únicos lugares a los cuales algunas de las autoridades ambientales competentes les exigen monitoreo de biocontaminantes, es a los rellenos sanitarios. Los rellenos sanitarios, como sistemas de disposición final de los residuos sólidos, deben ser proporcionados en principio por las Alcaldías de cada municipio conforme a la ley 99 de diciembre 22 de 1993 y el Decreto 1713 de 2002, pero el municipio puede contratar con la empresa privada, a partir de licitaciones. Las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs), tienen funciones de vigilancia, así como las Contralorías en su papel de Ente de Control Fiscal Ambiental de acuerdo con la Ley 42 de 1993 y el Ministerio Público (conformadas por las procuradurías, defensorías del pueblo y personerías) como entes que controlan el buen desarrollo de las funciones estatales, en este caso la correcta prestación de un servicio público. (Noguera, K. & Olivero, J., 2010).

El documento que puede avalar el monitoreo de bioaerosoles, es la **guía ambiental para rellenos sanitarios publicada en 2002**, en el contexto del Proyecto Colectivo Ambiental y del programa de Calidad de Vida Urbana. Este documento es un instrumento técnico y ambiental que orienta a los municipios a realizar en forma adecuada, la localización, el diseño, la construcción, la operación y la clausura de los rellenos sanitarios municipales y regionales y establece realizar monitoreos con frecuencia con el fin de garantizar la prevención y mitigación de los impactos ambientales.

Desde el punto de vista ocupacional, **Guía técnica del para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional** para el proceso de evaluación en la calificación de origen de enfermedad (Gutiérrez-Strauss, 2011) a través de la cual Minsalud sugiere como metodología para la estimación del riesgo biológico, que sugiere como metodología para la estimación del riesgo biológico la adopción de los lineamientos del INVASSAT: **Manual práctico para la evaluación del riesgo biológico en actividades laborales diversas. BIOGAVAL** (Llorca, et. al., 2004), cuya versión actualizada fue publicada en el 2013 y se presenta en el capítulo 4 (ver Metodología numeral 4.6)

Capítulo 4. Metodología

4.1 Área de estudio

4.1.1 Localización

El sistema de disposición final objeto de estudio, consiste en un relleno sanitario localizado a 15 kilómetros de Barranquilla, en la vía Juan Mina-Tubará, sobre un área total de 135 hectáreas (Figura 4-1), de las cuales 75 hectáreas son destinadas para la disposición de aproximadamente 1.300 toneladas diarias de desechos sólidos municipales. El relleno sanitario cuenta con una zona de descargue de residuos, los cuales son esparcidos y compactados (celda activa), las terrazas de las celdas de disposición generan evacuación de gases producidos por la degradación anaerobia de los residuos orgánicos (celdas pasivas) (Vélez-Pereira & Camargo, 2009), y con un sistema de tratamiento de lixiviados que se divide en tres fases: un desarenador, dos lagunas de sedimentación y tratamiento biológico.



Figura 4. 1. Área de estudio.

Fuente: Barraza (2016).

4.2 Materiales y métodos para la medición de bioaerosoles fungí

4.2.1 Método de colecta de bioaerosoles fungí.

La metodología implementada para la ejecución de este proyecto se basa en lo propuesto en la investigación de Camargo *et. al.*, 2011, la cual se fundamenta en lo propuesto por la Asociación de Compostaje del Reino Unido y el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos. La tabla 4.1 presenta los estudios que validan el método por impactador por cascada para la colecta y caracterización de aerosoles.

Tabla 4. 1 Estudios que validan el método por impactador por cascada.

TÍTULO	AUTOR (ES)	AÑO	EQUIPO DE MEDICIÓN	CAUDAL	TIEMPO
Aerotransportables viables en el área de tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales de la ciudad de Mérida, Yucatán	Rodríguez, S., Sauri, M., Peniche, I., Pacheco, J., Ramírez, J.	2005	Impactador Andersen de 6 etapas modelo 10-709	28,3 L/min	30 seg
Concentration and size distribution of bioaerosols in an outdoor environment in the Qindao coastal región	Li, M., Qi, J., Zhang, H., Huang, S., Li, L., Gao, D.	2011	Impactador de cascada de 6 etapas (FA-1)	28,3 L/min	-
Seasonal variations of airborne bacteria in the Mogao Grottoes, Dunhuang, China	Wang, W., Ma, Y., Ma, X., Wu, F., Ma, X., An, L., Feng, H.	2010	Impactador de cascada de 6 etapas (FA-1)	28,3 L/min	5 min
Size-resolved culturable airborne bacteria sampled in rice field, sanitary landfill, and waste incineration sites	Heo, Y., Park, J., Lim, S., Hur, H., Kim, D., Park, K.	2010	Impactador de cascada de 6 etapas (Andersen sampler, Copley scientific, UK)	28,3 L/min	10 min
Understanding and mitigating the challenge of bioaerosol emissions from urban community composting	Pankhurst, L., Akeel, U., Hewson, C., Maduka, I., Pham, P., Saragossi, J., Taylor, J., Lai, K.	2011	Impactador de cascada de 6 etapas (Andersen sampler, Thermo Fisher Scientific, USA)	28,3 L/min	10 min
Evaluación de la concentración de bioaerosoles fungí asociados al relleno sanitario Palangana, Santa Marta-Colombia	Vélez-Pereira, A., Camargo, Y.	2009	Impactador de cascada de 2 etapas	28,3 L/min	3 min
Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes	Jo, W., Seo, Y.	2005	Impactador de cascada de 1 etapa Andersen	28,3 L/min	2 min
Characterizations and relationships between outdoor and indoor bioaerosols in an office building	Zhu, H., Phelan, P., Duan, T., Raupp, G., Fernando, H.	2003	Impactador de cascada de 2 etapas (FX II Impactor, versión China)	28,3 L/min	5-8 min
Characteristics of indoor and outdoor bioaerosols at Korean high-rise apartment buildings	Lee, J., Jo, W.	2006	Impactador de cascada de 1 etapa Andersen	28,3 L/min	2 min

TÍTULO	AUTOR (ES)	AÑO	EQUIPO DE MEDICIÓN	CAUDAL	TIEMPO
Brochure Copley Scientific	Copley Scientific	2012	Impactador de cascada Andersen	28,3 L/min	-
Airborne viable, non-viable, and allergenic fungi in a rural agricultural area of India: a 2-year study at five outdoor sampling stations	Adhikari, A., Sen, M., Gupta-Bhattacharya, S., Chanda, S.	2004	Impactador de cascada Andersen	28,3 L/min	3 min
Culturable airborne fungi in outdoor environments in Beijing, China	Fang, Z., Ouyang, Z., Hu, L., Wang, X., Zheng, H., Lin, X.	2005	Impactador de cascada de 6 etapas (FA-1)	28,3 L/min	3 min
Analysis of portable impactor performance for enumeration of viable bioaerosols	Yao, M., Mainelis, G.	2007	Impactador BioStage (réplica de la última etapa del impactador de cascada de 6 etapas Andersen)	28,3 L/min	5 min
Characterization of seasonal indoor and outdoor bioaerosols in the arid environment of El Paso, Texas	Mota, L., Gibbs, S., Green, C., Payan, F., Tarwater, P., Ortiz, M.	2008	Impactador de cascada de 2 etapas (Modelo TE-10-860, Tisch Environmental, Inc., Cleves, Ohio) (Andersen, 1976)	28,3 L/min	10 y 15 min

En este sentido, se utilizó un impactador de cascada Andersen Thermo Scientific a una altura de 1,5m. Este equipo es un simulador del sistema respiratorio humano por tanto tiene seis (6) etapas que corresponden a la nariz, faringe, tráquea y bronquios primarios, bronquios secundarios, bronquios terminales y alveolos (ver Figura 4.3); en el muestreador la velocidad del aire se incrementa de una etapa a la siguiente y succiona un flujo de aire de 28,3 L/min (Jo & Seo, 2005; Lee & Jo, 2006; Heo et al., 2014) que arrastra las partículas viables por medio de una bomba de vacío. Al mismo tiempo, fue utilizado el anemómetro Kestrel Modelo 4500 710830 (calibrado previamente), el cual permitió la medición de las variables meteorológicas (humedad, temperatura y velocidad del viento).

La figura 4.3 resume las etapas del monitoreo, en cuanto a la preparación previa del material, los equipos implicados en la toma de muestras en la fase de campo, la fase de laboratorio, con su respectivo análisis de las muestras y desactivación del material biológico, categorizado como residuos peligrosos RESPEL.



Figura 4. 2. Etapas del monitoreo con el Impactador de cascada
Fuente: Autor, 2016.

4.2.2 Validación estaciones de monitoreo

Las estaciones de monitoreo se ubicaron en las diferentes unidades que integran el sistema de disposición final de residuos sólidos, a partir del trazado en el plano del área de estudio del eje imaginario en la dirección del viento, permitiendo su georreferenciación

con el GPS marca Garmin Oregon 550. No se realizó monitoreo en el área de tratamiento de lixiviado debido a que se trataba de un ambiente indoor.

A continuación se detallan las condiciones de cada una de las estaciones de monitoreo y la ubicación de estas en un plano del área de estudio (ver Figura 4.5):

- ✓ **Celda pasiva 1:** Ubicada en una terraza, específicamente en el eje central de tres vasos (Vasos 1, 2, 3). Cuenta con chimeneas activas.
- ✓ **Celda pasiva 2:** Ubicada en un punto equidistante (Vaso 4-5). Cuenta con chimeneas activas.
- ✓ **Celda activa:** Ubicada aproximadamente a 6m de la operación en la dirección del viento. Esta estación es la única que cambia su ubicación según el plan de trabajo del relleno, de acuerdo a Vélez-Pereira, 2008.
- ✓ **Piscinas de Lixiviado:** Estación ubicada en medio de dos piscinas de lixiviados del relleno sanitario.

4.2.3 Validación tiempo de colecta

El tiempo de recolección de la muestra se determinó mediante la aplicación de un muestreo a cinco tiempos (3, 5, 10, 15 y 18 minutos) de acuerdo a la información consignada en diferentes estudios con el mismo principio de muestreo (activo y por impactación) (tabla 4.1), luego mediante un análisis de estadísticos de límites de confianza y precisión de la concentración se estableció que 5 min fue aquel que mostró una mejor precisión y exactitud de las concentraciones en las distintas etapas del impactador de cascada.

4.3 Muestreo de bioaerosoles fungí en el área de estudio

4.3.1 Estaciones de muestreo

Para la medición de la inmisión de aerosoles fungí, se ubicaron cuatro (4) estaciones de monitoreo en las instalaciones del relleno sanitario objeto de estudio (ver numeral 4.2.2). Las estaciones definidas durante el muestreo fueron georreferenciadas utilizando un GPS marca Garmin Oregon 550, la tabla 4.2 presenta las coordenadas durante las 12 campañas de monitoreo; la celda activa varía de coordenadas debido al llenado de residuos por celdas.

Tabla 4. 2. Coordenadas de las estaciones (S) de muestreo.

Estación		Coordenadas	
Celda activa	Monitoreo 1	N10°55'40.87"	W74°55'30.43"
	Monitoreo 2	N10°55'41.41"	W74°55'31.69"
	Monitoreo 3	N10°55'41.60"	W74°55'30.50"
	Monitoreo 4	N10°55'43.50"	W74°55'30.30"

	Monitoreo 5	N10°55'39.91"	W74°55'27.91"
	Monitoreo 6	N10°55'41.56"	W74°55'31.94"
	Monitoreo 7	N10°55'92.83"	W74°55'92.55"
	Monitoreo 8	N10°55'71.2"	W74°55'51.3"
	Monitoreo 9	N10°55'76.7"	W74°55'39.0"
	Monitoreo 10	N10°55'74.0"	W74°55'39.5"
	Monitoreo 11	N10°55'71.2"	W74°55'51.3"
	Monitoreo 12	N 10°55'71.3"	W74°55'51.0"
	Celda pasiva 1	N10°55'50.84"	W74°55'32.92"
	Piscinas de lixiviados	N10°55'56.58"	W74°55'22.92"
	Celda pasiva 2	N10°55'46.06"	W74°55'24.31"

Fuente: Autor, 2016.

4.3.2 Toma de muestra

La metodología implementada para la ejecución de este proyecto es basada en lo propuesto en la investigación de Camargo *et. al.*, 2011. La recolección de la muestra se realizó por un lapso de tiempo de 5 minutos establecido en el muestreo (ver numeral 4.2.3). La recolección de la muestra se llevó a cabo en dos jornadas: mañana desde las 7:00 am a 11:00 am y tarde de 12:30 pm hasta las 6:00 pm. El muestreo se realizó a lo largo de 12 meses en el periodo comprendido entre abril de 2015 y abril de 2016, una vez por mes.

Las muestras fueron tomadas por triplicado en cada una de las estaciones de monitoreo en las dos jornadas. El medio depositado en las cajas Petri fue el Sabouraud Dextrosa para hongos de la casa comercial Scharlau y su preparación se realizó siguiendo el protocolo de preparación del medio de cultivo.

4.4 Análisis de las muestras de bioaerosoles fungí

4.4.1 Cuantificación e identificación del material

Posterior a la recolección de las muestras en cada estación de monitoreo, se realizó su incubación a la temperatura ambiente promedio del área de estudio (28 °C) durante 5 días. Luego de este periodo se efectuó el conteo de aerosoles fungí por Caja Petri utilizando el Contador de Colonia marca Heathrow scientific y teniendo en cuenta las características macroscópicas de forma, color, textura, borde, entre otras. Para la identificación de los géneros de fungí se empleó la coloración simple con Azul de lactofenol, permitiendo la identificación de las estructuras reproductiva y el micelio, y basado en las claves taxonómicas de Barnett, 1960 (Illustrate genera of imperfect fungí), para el caso de los *Aspergillus* se utilizó la misma metodología inicial con la variante del uso de las claves taxonómicas de Raper K. B. & D. J. Fennell, 1997.

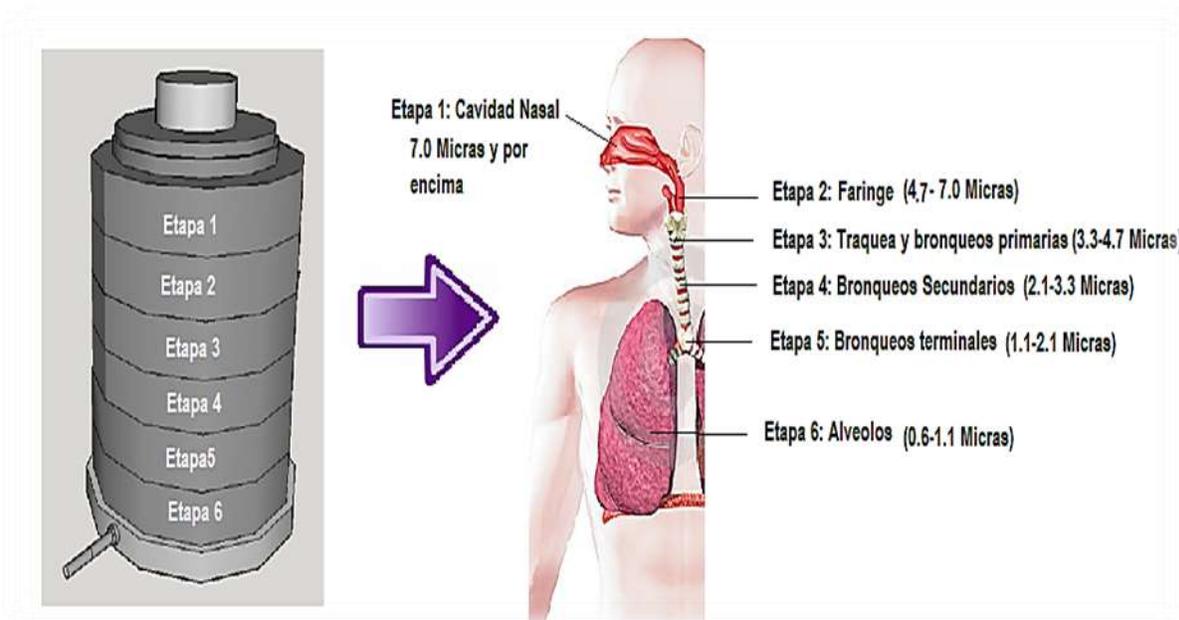


Figura 4. 3. Etapas del monitoreo con el Impactador de cascada
Fuente: Campo & González, 2016.

4.4.2 Determinación de la concentración

Para la determinación de la concentración de bioaerosoles, en Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por m³, se empleó la ecuación a continuación.

$$\text{Concentración de bioaerosoles } \left(\frac{\text{UFC}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{CC} \cdot 1000}{\text{Q} \cdot \text{T}} \quad (\text{Ec. 4 - 1})$$

Donde CC es la cantidad de colonias contadas en cada muestra, 1000 es un factor de conversión de unidades, Q el caudal de aire que ingresa en el impactador de cascada (28,3 L/min) y T el tiempo de colecta de los bioaerosoles (5 min).

4.5.1 Análisis estadístico

Los modelos de regresión lineal permiten inferir la relación de las variables en la población, comprobando si la relación entre las variables que componen el modelo está de acuerdo con la propia forma del modelo, se estiman los parámetros de acuerdo con el criterio elegido mediante mínimos cuadrados y se verifica el ajuste del modelo para que tengan consistencia las inferencias que se saquen para la población (Vargas, A., 1995); por su parte, el ANOVA Multifactorial está diseñado para construir un modelo estadístico describiendo el impacto de dos o más factores categóricos X_j de una variable dependiente Y. Se realizan pruebas para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias a diferentes niveles de los factores y si hay o no interacciones entre los

factores. Además, los datos pueden desplegarse gráficamente de varias maneras, incluyendo un gráfico múltiple de dispersión, una gráfica de medias y una gráfica de interacciones (StatPoint, 2006).

Los resultados obtenidos fueron sistematizados en una hoja de Excel por campaña, jornada, estación de monitoreo y réplica. Esta información permitió realizar el análisis de los datos mediante el software Statgraphics Centurion XVI, aplicando un modelo de regresión lineal generalizado, con el fin de determinar si existe relación entre las variables meteorológicas medidas (temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) con las concentraciones obtenidas de aerosoles fungí con un 95% de confianza ($p < 0.05$). Además, se realizó un análisis estadístico mediante ANOVA Multifactorial que permitió establecer si existen diferencias significativas entre los factores o variables independientes, en este caso las estaciones de monitoreo, la jornada y la campaña, e inclusive para conocer la varianza de un determinado factor con respecto a la media

4.5.2 Concentración de bioaerosoles fungí

Los datos de concentración de aerosoles fungí fueron tabulados por cada campaña y estación de monitoreo durante las dos jornadas de colecta, calculando el promedio aritmético entre el original y la réplica de cada muestra y el promedio geométrico por estación y jornada durante las doce campañas de monitoreo. Se elaboró un diagrama de barras que presentó la distribución porcentual de aerosoles fungí para cada una de las etapas del equipo impactador de cascada Andersen Thermo Scientific, por campaña y jornada.

4.5.3 Distribución espaciotemporal

Por otra parte, para desarrollar la distribución espacio-temporal de la concentración de los bioaerosoles se realizaron mapas de isoconcentración utilizando el programa Golden Surfer 11, el cual permite analizar las concentraciones en distintas isolíneas, y así mismo conocer las zonas con mayor o menor concentración de bioaerosoles en una determinada jornada y campaña.

4.6 Estimación del riesgo por exposición a agentes biológicos

Teniendo en cuenta la concordancia del método de toma y análisis de muestras adoptado en el presente proyecto, conforme a lo planteado en la *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos* (INSHT, 2014) y la *Guía técnica del para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional para el proceso de evaluación en la calificación de origen de enfermedad* (Gutiérrez-Strauss, 2011) a través de la cual Minsalud sugiere como metodología para la estimación del riesgo biológico la adopción de los lineamientos del INVASSAT: **Manual práctico para la evaluación del riesgo biológico en actividades laborales diversas. BIOGAVAL** (Llorca, *et. al.*, 2004), se optó por utilizar la versión actualizada del BIOGAVAL (Llorca, *et. al.*, 2013). BIOGAVAL, es considerada

especialmente para actividades donde no se manipulan deliberadamente agentes biológicos, pero en la que los trabajadores se hallan expuestos a los riesgos que se derivan de la presencia de microorganismos, tales como trabajos en unidades de eliminación de residuos. La figura 4.4 presenta las etapas de la metodología mencionada.

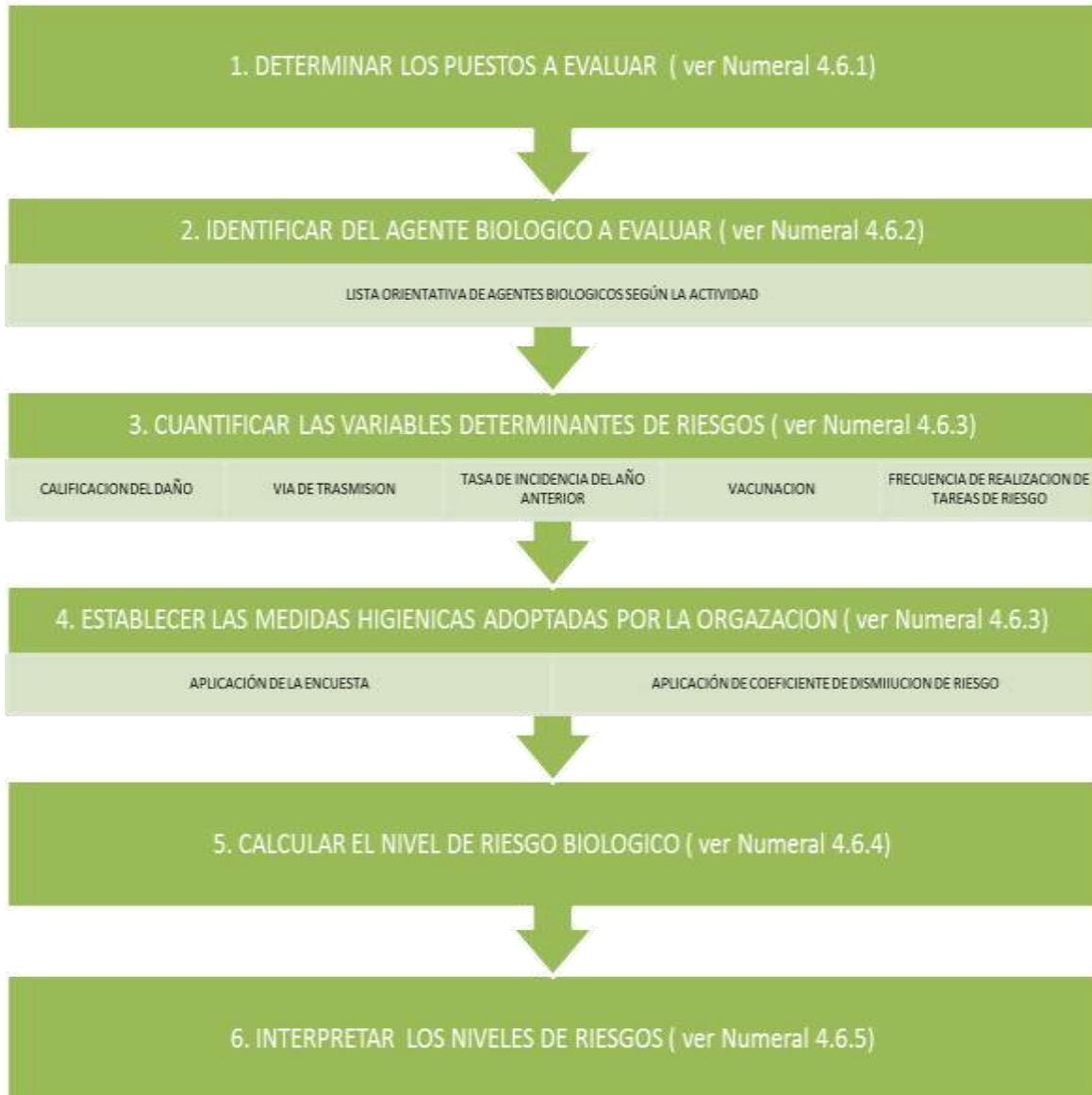


Figura 4. 4. Etapas de la evaluación del riesgo biológico según BIOGAVAL
 Fuente: basado en Llorca, *et. al.*, 2013.

4.6.1 Determinación de los puestos a evaluar

Para realizar la evaluación se consideró dentro de un mismo puesto, aquellos trabajadores cuya asignación de tareas y entorno de trabajo determinan una elevada homogeneidad respecto a los riesgos existentes, al grado de exposición y a la gravedad de las consecuencias de un posible daño (Llorca, *et. al.*, 2013, INSHT, 2014).

4.6.2 identificación del agente implicado

Para este ítem se adoptaron los criterios definidos por Llorca, *et. al.*, 2013, para la selección de microorganismos centinelas bajo el método BIOGAVAL, para la utilización de la modalidad simplificada de evaluación, justificada en el conocimiento de la actividad, el proceso de trabajo y siendo la exposición evaluada representativa del conjunto de microorganismos. Los microorganismos seleccionados deben cumplir los siguientes criterios:

- Estar habitualmente presente en la actividad que se está evaluando
- Transmitirse por vía aérea o pertenecer a los grupos 3 ó 4 de clasificación de microorganismos, según el Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo o en aquellos sectores donde no existan microorganismos que cumplan los criterios anteriores, se adoptarán los que aporten mayor peligrosidad, es decir microorganismos del grupo 2.
- Que la adopción de medidas higiénicas, reduzca su nivel de riesgo biológico (R) en la actividad considerada por debajo del límite de exposición biológica (LEB = 17), es decir, $R < 17$

4.6.3 Cuantificación de las variables determinantes del riesgo

Clasificación del daño: Para la clasificación del daño que puede causar cada agente biológico, se consideró el número de días de baja que supondría padecer la enfermedad, así como la posibilidad o no de que ésta deje secuelas, siguiendo un tratamiento adecuado. Para efectos de valorar el tiempo óptimo de la enfermedad se tuvo en cuenta Manual de tiempos óptimos de incapacidad temporal (INSS, 2013).

Tabla 4. 3. Puntuación según la clasificación del daño.

SECUELAS	DAÑO	PUNTUACIÓN
Sin secuelas	I.T. menor de 30 días	1
	I.T. mayor de 30 días	2
Con secuelas	I.T. menor de 30 días	3
	I.T. mayor de 30 días	4
	Fallecimiento	5

Nota: (I.T.: incapacidad temporal)

Fuente: Llorca, *et. al.*, 2013

Vía de trasmisión: es el mecanismo en virtud del cual un agente se propaga de una fuente o reservorio a una persona (Llorca, *et. al.*, 2013). Para la calificación de la vía de transmisión utilizo la tabla 4.4, la puntuación final se obtiene sumando las cifras correspondientes a las diferentes vías de transmisión que presenta cada agente biológico, en el supuesto de que tenga más de una vía. A la vía de transmisión aérea se le ha asignado una puntuación mayor, por resultar mucho más fácil el contagio.

Tabla 4. 4. Puntuación según las vías de trasmisión

VIA DE TRANSMISIÓN	PUNTUACIÓN
Indirecta	1
Directa	1
Aérea	3

Fuente: Llorca, *et. al.*, 2013

Tasa de incidencia del año anterior: Para el cálculo de la tasa de incidencia se aplicó la siguiente expresión (Ver Ecuación 4.2):

$$\text{TASA DE INCIDENCIA} = \frac{\text{Casos nuevos en el periodo considerado}}{\text{Población expuesta}} \times 100.000 \quad \text{Ec4.2}$$

Fuente: Llorca, *et. al.*, 2013

Una vez se calculó la tasa de incidencia, se procedió a establecer la puntuación en función de la tabla 4.5:

Tabla 4. 5. Puntuación según la Tasa de Incidencia/ habitante

INCIDENCIA / 100.000 HABITANTES	PUNTUACIÓN
< 1	1
1 – 9	2
10 – 99	3
100 – 999	4
≥ 1000	5

Fuente: Llorca, *et. al.*, 2013

Vacunación: para estimar el número de trabajadores expuestos que se encuentran vacunados, debe existir una vacuna para el agente biológico en cuestión. Para el cálculo del nivel de riesgo correspondiente, se aplicó la siguiente tabla:

Tabla 4. 6. Puntuación según el porcentaje de vacunación.

VACUNACIÓN	PUNTUACIÓN
Vacunados más del 90%	1
Vacunados entre el 70 y el 90%	2
Vacunados entre el 50 y el 69%	3
Vacunados menos del 50%	4
No existe vacunación	5

Fuente: Llorca, *et. al.*, 2013

Frecuencia de realización de las tareas de riesgos: Este factor evalúa el contacto en el tiempo y el espacio entre el trabajador y los diferentes agentes biológicos objeto de la evaluación. Para ello, se calculó el porcentaje de tiempo de trabajo en que éstos se encuentran en contacto con los distintos agentes biológicos objeto de análisis, descontando del total de la jornada laboral, el tiempo empleado en descansos, tareas administrativas, tiempo para el aseo, procedimientos que no impliquen riesgo de exposición, etc.

Una vez realizado este cálculo se comparó con la tabla siguiente para conocer el nivel de riesgo.

Tabla 4. 7. Puntuación para la frecuencia de exposición

PORCENTAJE	PUNTUACIÓN
Raramente: < 20 % del tiempo	1
Ocasionalmente: 20 - 40 % del tiempo	2
Frecuentemente: 41 - 60 % del tiempo	3
Muy frecuentemente: 61 - 80 % del tiempo	4
Habitualmente > 80 % del tiempo	5

Fuente: Llorca, *et. al.*, 2013

Medidas Higiénicas Adoptadas: Para evaluar la influencia de las medidas higiénicas se adoptó el formulario específico que recoge 40 apartados (ver anexo A. Encuesta de medidas higiénicas adoptadas). Para su cuantificación se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

- Considerar solamente las respuestas aplicables
- Determinar la puntuación de las respuestas afirmativas resultantes

- Calcular el porcentaje entre puntuación de respuestas afirmativas resultantes y el número máximo de posibles respuestas

En función del porcentaje obtenido, se aplicaron los siguientes coeficientes de disminución del riesgo a cada agente biológico, según los valores asignados en la tabla siguiente:

Tabla 4. 8. Puntuación para resultado de las medidas higiénicas adoptadas

RESPUESTAS AFIRMATIVAS	PUNTUACIÓN
< 50 %	0
50 - 79 %	- 1
80 - 95 %	- 2
> 95 %	- 3

Fuente: Llorca, *et. al.*, 2013

Una vez se obtuvo la puntuación, se restó al valor estimado de los parámetros sobre los que influiría la adopción de estas medidas, que son: daño y vía de transmisión de cada agente biológico, con lo cual estaremos reduciendo el riesgo en función de las medidas higiénicas aplicadas en cada caso. No obstante, por definición metodológica, el valor mínimo de esta diferencia ha de ser 1 ó mayor que 1 en todos los casos determinados, no admitiéndose nunca valores de 0 o negativos.

4.6.4 Cálculo del nivel de riesgo biológico (R)

Con los valores hallados se aplicó la fórmula siguiente:

$$R = (D \times V) + T + I + F$$

Donde:

R = Nivel de riesgo.

D = Daño tras su minoración con el valor obtenido de las medidas higiénicas.

V = Vacunación.

T = Vía de transmisión (habiendo restado el valor de las medidas higiénicas).

I = Tasa de incidencia.

F = Frecuencia de realización de tareas de riesgo.

Puesto que las variables DAÑO y VACUNACIÓN se encuentran íntimamente relacionadas, ya que si se aumenta la tasa de vacunación disminuirá el daño e

inversamente, estos factores se presentan en la expresión en forma de producto, apareciendo el resto como una suma.

4.6.5 interpretación de los niveles de riesgo biológico

Una vez obtenido el nivel de riesgo (R) mediante la expresión anterior es preciso interpretar su significado. Según Llorca, *et. al.* (2013), tras la validación se consideraron dos niveles:

- Nivel de acción biológica (NAB)
- Límite de exposición biológica (LEB)

Se entiende por **nivel de acción biológica (NAB)** aquel valor a partir del cual deberán tomarse medidas de tipo preventivo para intentar disminuir la exposición, aunque la situación no llegue a plantear un riesgo manifiesto. No obstante, a pesar de que no se considere peligrosa esta exposición para los trabajadores, constituye una situación manifiestamente mejorable, de la que se derivarán recomendaciones apropiadas. Los aspectos fundamentales sobre los que se deberá actuar son las medidas higiénicas y el tiempo de exposición.

El **límite de exposición biológica (LEB)** es aquel que en ningún caso y bajo ninguna circunstancia debe superarse, ya que supone un peligro para la salud de los trabajadores y representa un riesgo intolerable que requiere acciones correctoras inmediatas.

Es evidente que, dependiendo del agente biológico al que se encuentren expuestos los trabajadores, el nivel de riesgo será más o menos elevado. Sin embargo, este grupo de trabajo ha puesto de relieve que al aplicar todas las medidas preventivas en ningún caso se llega a superar el valor límite de exposición, debiendo ser, en los casos en los que el nivel de riesgo se aproxime a este límite, más rigurosos en su aplicación. Los citados niveles han sido situados en:

- Nivel de acción biológica (NAB) = 12. Valores superiores requieren la adopción de medidas preventivas para reducir la exposición.
- Límite de exposición biológica (LEB) = 17. Valores superiores representan situaciones de riesgo intolerable que requieren acciones correctoras inmediatas.

Capítulo 5. Análisis y discusión de resultados

5.1 Concentración de aerosoles fungí

La Tabla 5-1 relaciona los resultados de la concentración en UFC/m³ de bioaerosoles fungí en las etapas de tratamiento del relleno sanitario objeto de estudio, durante las doce campañas de monitoreo, el promedio geométrico es empleado para la tasa de crecimiento en relación a las estaciones y las jornadas de monitoreo (Vélez-Pereira, A., et al, 2010). El máximo promedio geométrico se presentó en la jornada de la mañana en la piscina de lixiviados mientras que el mínimo se reportó en la celda pasiva 2 en la tarde.

Tabla 5. 1. Concentración (UFC/m³) de bioaerosoles en el relleno sanitario.

Estación	Jornada	Campaña N°												Promedio geométrico
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
S1	M	876,32 ± 207,12 ¥	327,44 ± 63,34	237,92 ± 76,22	433,45 ± 174,59	122,49 ± 60,10 □	294,46 ± 144,89	445,22 ± 128,96	537,10 ± 159,12	508,83 ± 416,96	365,13 ± 90,87	355,71 ± 148,63	318,02 ± 159,28	363,75
	T	200,24 ± 132,27 □	652,53 ± 216,36 ¥	240,28 ± 110,16	431,09 ± 85,68	193,16 ± 91,14	87,16 ± 20,40 □	388,69 ± 203,72	383,98 ± 92,23	226,14 ± 110,39 □	546,52 ± 192,42 ¥	607,77 ± 56,09 ¥	167,25 ± 26,75 □	294,60
S2	M	664,31 ± 251,15	492,34 ± 85,48	287,39 ± 114,89 ¥	800,942 ± 318,59 ¥	131,91 ± 48,10	313,309 ± 60,10	449,94 ± 65,66	541,81 ± 117,05 ¥	237,92 ± 44,88	360,42 ± 141,87	433,45 ± 94,90	334,51 ± 169,66	381,26
	T	650,17 ± 111,06	508,83 ± 81,50	169,61 ± 127,40	659,59 ± 222,84	242,63 ± 66,79	143,698 ± 114,24	393,4 ± 70,78	301,53 ± 88,36 □	292,10 ± 66,79	449,94 ± 239,27	292,10 ± 145,57 □	202,59 ± 119,16	320,86
S3	M	308,59 ± 21,59	226,14 ± 147,56 □	160,18 ± 22,71	362,77 ± 152,28	169,61 ± 32,38	405,18 ± 17,78 ¥	416,96 ± 21,20	365,13 ± 171,99	252,06 ± 82,81	275,61 ± 61,60	320,37 ± 107,94	464,07 ± 48,10	295,22
	T	431,09 ± 39,34	482,92 ± 124,49	73,02 ± 26,75 □	*	228,50 ± 71,14	263,83 ± 115,11	322,73 ± 10,79	393,40 ± 227,94	355,71 ± 71,49	259,12 ± 92,23	325,08 ± 182,79	223,79 ± 52,49	278,46
S4	M	252,06 ± 99,02	334,51 ± 85,19	146,05 ± 38,92	313,30 ± 52,09 □	138,98 ± 35,57	398,11 ± 294,31	654,88 ± 72,18 ¥	367,49 ± 259,75	584,21 ± 455,61	480,56 ± 290,26	530,03 ± 241,83	351,00 ± 51,12 ¥	343,34
	T	464,07 ± 124,49	280,32 ± 111,81	209,65 ± 173,15	412,24 ± 196,40	327,44 ± 51,12 ¥	197,87 ± 56,09	308,59 ± 53,11 □	386,33 ± 71,14	1830,38 ± 971,28 ¥	100,59 ± 50,04 □	355,71 ± 22,71	254,41 ± 122,40	326,13

S: Estación, **S1:** Celda pasiva 1, **S2:** Piscinas de lixiviados, **S3:** Celda pasiva 2, **S4:** Celda activa, **M:** Mañana, **T:** Tarde. - Sin crecimiento de microorganismos. *Jornada con precipitaciones. □ Valor mínimo en la campaña. ¥ Valor máximo en la campaña.

En cuanto a las jornadas, en la jornada de la mañana, el valor más alto corresponde a 876,32 UFC/m³ en la campaña 1 del mes de abril de 2015 celda pasiva 1, con unas condiciones de dirección del viento NO, una velocidad del viento 4,98 m/s, 28°C de temperatura y 76% de humedad; el valor mínimo corresponde a 122,49 UFC/m³ en la campaña 5 del mes de agosto en la celda pasiva 1, con una dirección del viento de NE, velocidad del viento de 1,8 m/s, temperatura de 31°C y 81% de humedad.

En la jornada de la tarde el mayor promedio fue de 1830 UFC/m³ en la celda activa durante la campaña 9 del mes de enero, con unas condiciones de dirección del viento NO, una velocidad del viento 2,1 m/s, 32°C de temperatura y 74% de humedad; el valor mínimo corresponde a 73,02 UFC/m³ en la campaña 3 del mes de junio en la celda pasiva 2, con una dirección del viento de NNE, velocidad del viento de 2,75 m/s, temperatura de 31°C y 73% de humedad.

Durante las campañas de muestreo, la campaña 4 presentó el menor valor durante la jornada de la tarde en la celda pasiva 2, ya que no hubo crecimiento de microorganismos, es importante resaltar que fue un día de lluvia, según la literatura los bioaerosoles sufren un efecto lavado. El valor máximo en la campaña 9 en la jornada de la tarde como fue mencionado anteriormente (ver Figura 5.1)

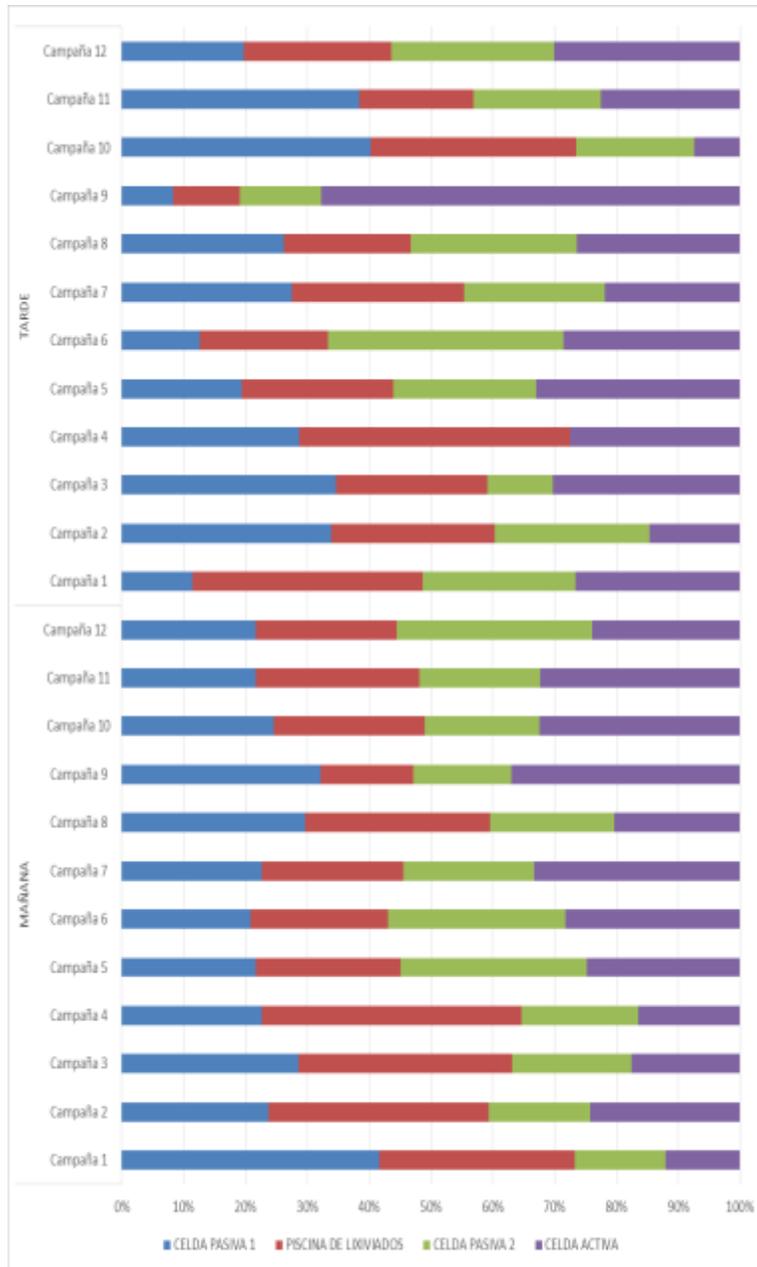


Figura 5. 1. Porcentajes de la concentración de bioaerosoles fungí por estaciones

Finalmente la Figura 5.2 presenta la distribución de la concentración de bioaerosoles fungí por etapas del impactador de cascada. Las aerosoles fungí tienden a acumularse principalmente en la etapa 4.

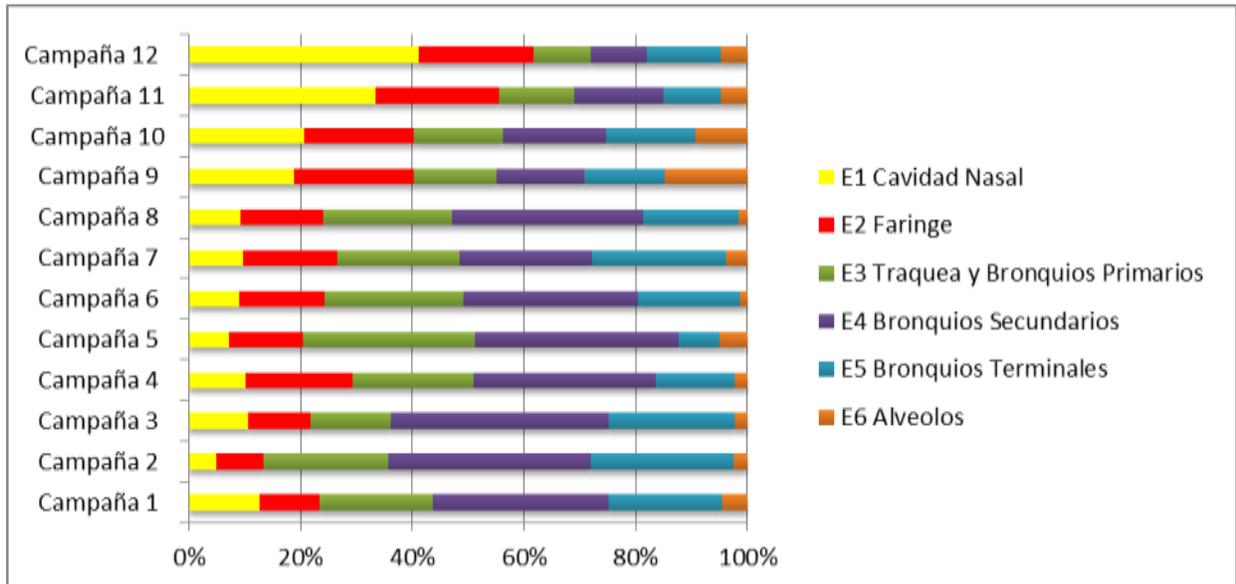


Figura 5. 2. Distribución de la concentración de bioaerosoles fúngicos por etapas del impactador.

A nivel general, las concentraciones aerosoles fúngicos obtenidas se encuentran por debajo de los valores máximos reportados por otras investigaciones, las cuales reportan intervalos 17-480.000 UFC/m³ (Flores et al., 2007; Malecka-Adamowicz et al., 2007; Vélez-Pereira & Camargo, 2009; Kalwasinska & Burkowska, 2013; Schlosser et al., 2016).

Así mismo, las concentraciones en la celda activa son inferiores a los valores reportados por otros estudios, en los cuales se reportan intervalos entre 59 y 480.000 UFC/m³ (Flores et al., 2007; Malecka-Adamowicz et al., 2007; Vélez-Pereira & Camargo, 2009; Schlosser et al., 2016). Para el caso de la estación ubicada entre las piscinas de lixiviados, las concentraciones son inferiores a las reportadas por Camargo et al. (2011).

La predominancia de bioaerosoles respirables en la presente investigación coincide con otros estudios realizados, en los cuales se afirma que la mayor tendencia a la acumulación de aerosoles fúngicos corresponde a las etapas 3, 4 y 5; lo anterior debido al diámetro de las partículas (Rodríguez et al., 2005; Vélez-Pereira et al., 2010). De esta manera, se confirma la presencia de bioaerosoles que resultan perjudiciales a la salud de los trabajadores que laboran en el relleno sanitario e inclusive a las poblaciones aledañas, debido a la acumulación de las partículas en los pulmones y bronquios pudiendo provocar diversas enfermedades alérgicas, respiratorias crónicas e infecciosas graves (Rodríguez et al., 2011; Sánchez-Monedero et al., 2006; Vélez-Pereira et al., 2010; Jonsson et al., 2014).

5.2 Identificación de los bioaerosoles

Se identificaron 15 taxones, los identificados corresponden a *Acremonium sp*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus mucor*, *Aspergillus nidulans*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus versicolor*, *Cladosporium sp*, *Fusarium semitectum*, *Fusarium sp*, *Geotrichum*, *Penicillium sp*, *Rhizopus* y *Streptomyces sp*.

5.3 Distribución espacio-temporal de los bioaerosoles

En la Figura 5.3 presenta la distribución espacio-temporal de los bioaerosoles fungí a través de planos de isoconcentración cinética, los cuales permiten identificar que no presentan cambios bruscos en las concentraciones, exceptuando la campaña 9 en la jornada de la tarde, la dirección del viento predominante fue de noroeste, la temperatura estuvo comprendida entre los 28 y 31°C, la humedad relativa de 74 y 76% y una velocidad del viento de 2,1 y 4,9 m/s. La distribución espacial y temporal de la concentración de los aerosoles fungí está influenciada a las condiciones meteorológicas del área de estudio, confirmando lo expuesto por Rosas et al., 2004 y Vélez-Pereira & Camargo, 2009 quienes relacionan la distribución espacial con los flujos y la modulación meteorológica, la cual se ve afectada por procesos de deposición húmeda y seca, viento y corrientes de convección.

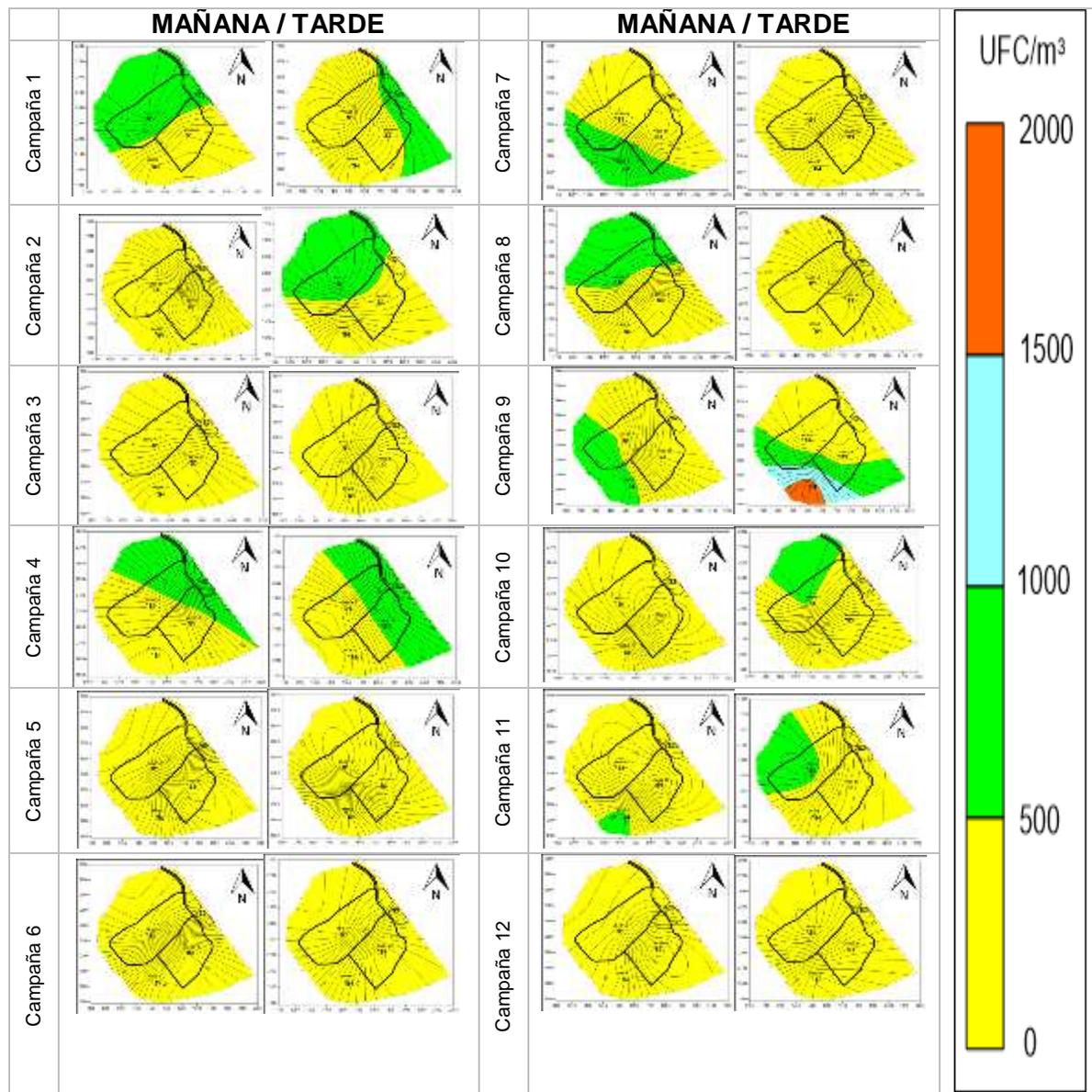


Figura 5. 3. Distribución espacio-temporal de aerosoles fungí en las jornadas de la mañana y tarde, Campañas 1 a la 12. S1: Celda pasiva 1. S2: Piscina de lixiviados. S3: Celda pasiva 2. S4: Celda activa.

Fuente: Autor, 2016.

5.4 Análisis estadístico de los datos

En la investigación, se empleó un modelo de regresión lineal desarrollado a partir de las medidas de las condiciones meteorológicas y la concentración de microorganismos, teniendo en cuenta que las variables fueron significativas cuando en la tabla de ANOVA de la significancia de las variables se obtuvo un valor-p menor de 0,05.

Las variables: Campaña, etapa, clasificación, temperatura y humedad relativa presentaron una correlación estadísticamente significativa con P-valor=0 la concentración. Las variables que no resultaron significativas fueron la velocidad del viento (valor p = 0,1422), dirección del viento (valor p = 0,5028) y jornada (valor p 0,0936).

Tabla 5. 2. Análisis de Varianza para UFC/m3.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	463515,	35	13243,3	15,25	0,0000
Residuo	4,0855E6	4706	868,147		
Total (Corr.)	4,54901E6	4741			

Fuente: Autor, 2016

Tabla 5. 3. Suma de Cuadrados Tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
CAMPAÑA	169106,	11	15373,3	17,71	0,0000
ESTACIÓN	13621,0	3	4540,32	5,23	0,0013
ETAPA	90148,5	5	18029,7	20,77	0,0000
CLASIFICACIÓN	179220,	14	12801,4	14,75	0,0000
TEMPERATURA	28568,2	1	28568,2	32,91	0,0000
HUMEDAD	15422,1	1	15422,1	17,76	0,0000
Residuo	4,0855E6	4706	868,147		
Total (corregido)	4,54901E6	4741			

R-Cuadrada = 10,1893 por ciento

Fuente: Autor, 2016.

Las variables analizadas son estadísticamente significativas al presentar valores menores a los establecido para la prueba ($p < 0,05$); sin embargo, sólo explican el 10,18% de la variabilidad presentada por la concentración. Esto indica que la interacción entre las variables no es suficiente para mostrar un modelo de predicción de crecimiento de bioaerosoles fungí, lo cual puede atribuirse a que el crecimiento microbiano no sólo se ve influenciado por la humedad relativa y la temperatura, tal como se evidencia en las figuras 5.5 y 5.6 de forma (Rosas et al., 2005; Vélez-Pereira & Camargo, 2009), sino que su comportamiento puede variar en función de otros factores climáticos y microbiológicos condicionando su supervivencia en el aire (Rosas, et al., 2004).

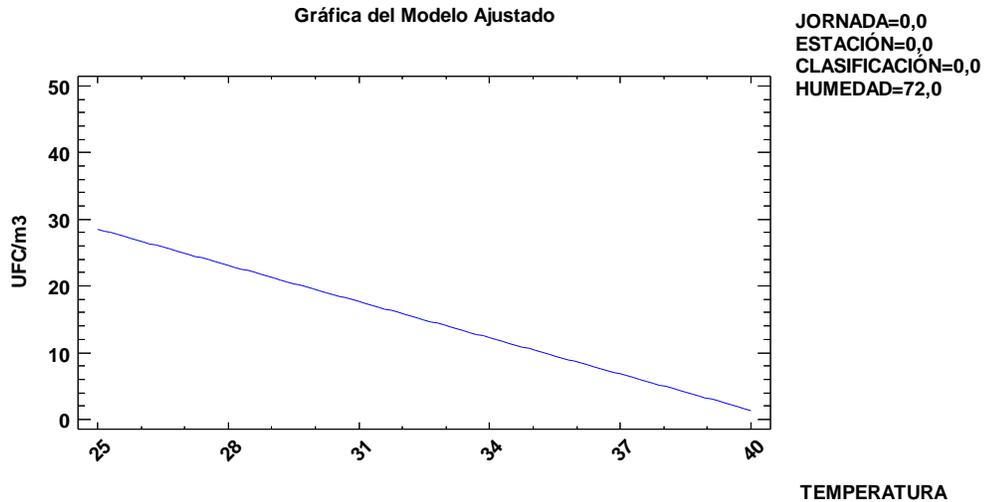


Figura 5. 4. Concentración de bioaerosoles fungí en relación a las condiciones de temperatura
 Fuente: el autor, 2016.

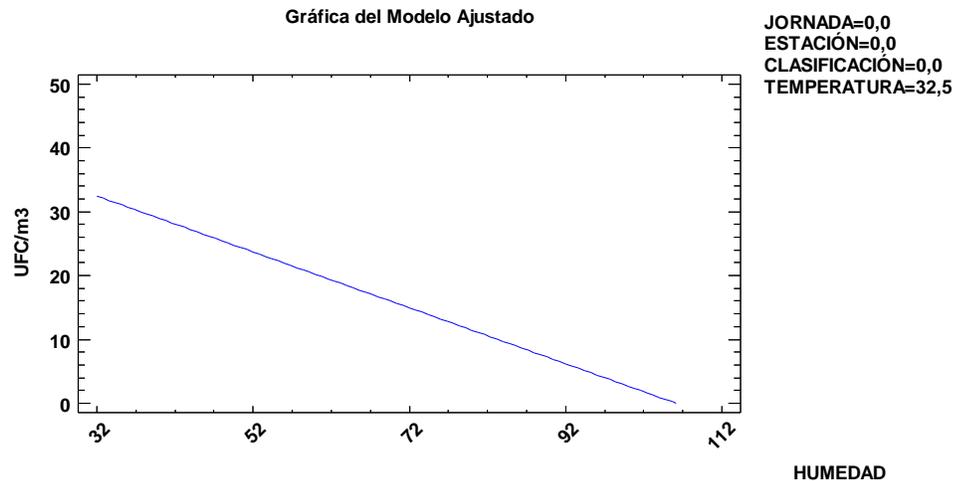


Figura 5. 5. Concentración de bioaerosoles fungí en relación a las condiciones de temperatura
 Fuente: el autor, 2016

Mediante el modelo de regresión lineal simple, se encontró además, que las concentraciones presentan diferencias significativas en relación a los meses monitoreados (campañas). Como se observa en la Figura 5.6, los rangos de las posibles concentraciones que pueden presentarse para cada mes, son amplios; la mayor concentración de aerosoles fungí se generó en la Campaña 9 (Enero de 2016), en este mes se presentaron los niveles más elevados de temperatura y estuvo influenciado por la

época de sequía del departamento, esto va de la mano a lo reportado por Jones & Harrison (2003) quienes demostraron que la liberación de partículas aerotransportables se incrementan en días secos, conforme aumenta la temperatura y la velocidad del viento y se reduce la humedad relativa. La concentración más baja de aerosoles fungí fue en la campaña 3 de junio de 2015.

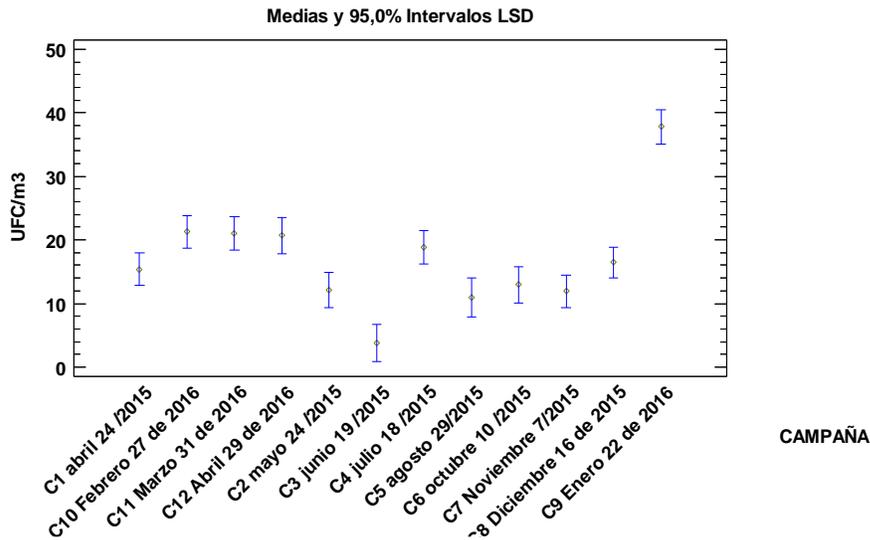


Figura 5. 6. Concentración de bioaerosoles fungí en relación a las campañas de monitoreo
Fuente: el autor, 2016.

En cuanto a la concentración en función las estaciones, se observa un comportamiento similar para las tres estaciones de monitoreo de Celda pasiva 1, la piscina de lixiviados y la Celda activa, en menor grado las concentraciones de la Celda pasiva 2 (ver figura 5.7).

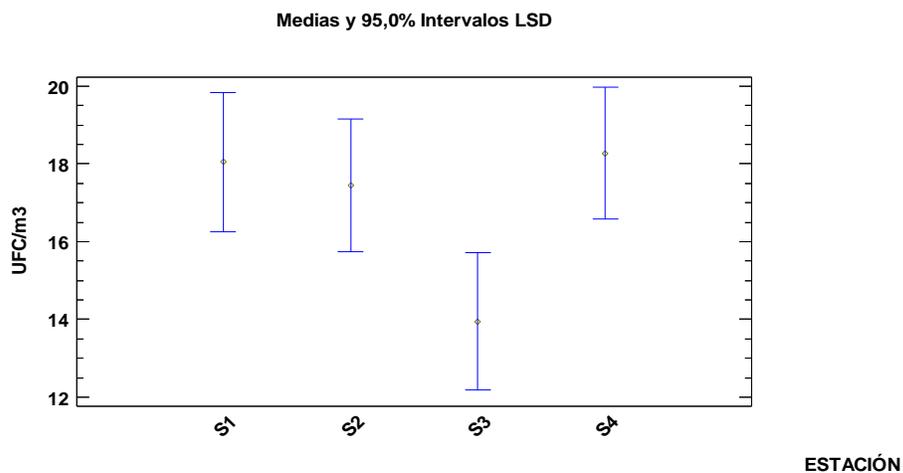


Figura 5. 7. Concentración de bioaerosoles fungí en relación a las estaciones de monitoreo. S1: Celda pasiva 1. S2: Piscina de lixiviados. S3: Celda pasiva 2. S4: Celda activa.
Fuente: el autor, 2016.

Teniendo en cuenta la concentración por etapas del impactador de cascada, la figura 5.8 muestra que los aerosoles fungí tienden a concentrarse en mayor medida en la etapa 3, 4 y 5 correspondiente a los bronquios primarios, bronquios secundarios y terminales, lo cual se encuentra directamente asociado al diámetro de la etapa y el tamaño de las partículas ($4,7 \mu\text{m}$ a $1,1 \mu\text{m}$) en correspondencia a lo reportado en estudios antecedentes (Rodríguez et al., 2005; Vélez-Pereira et al., 2010). La acumulación de estos aerosoles fungí en bronquios pueden provocar diversas enfermedades alérgicas, respiratorias crónicas e infecciosas (Rodríguez et al., 2005; Sánchez-Monedero et al., 2006; Vélez-Pereira et al., 2010; Jonsson et al., 2014).

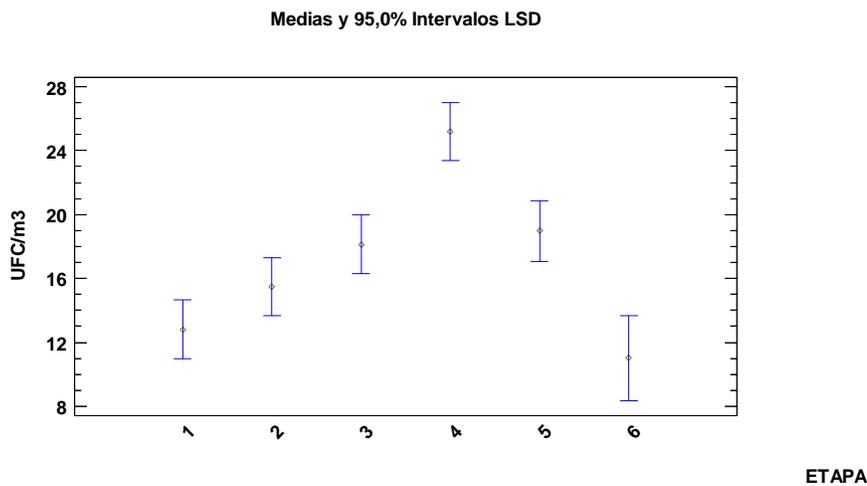


Figura 5. 8. Concentración de bioaerosoles fungí en relación a las etapas del impactador
Fuente: el autor, 2016

En cuanto a los taxones identificados, se presentó una mayor predominancia del género *Aspergillus*: *A. fumigatus*, *A. versicolor*, reportados como alérgicos y tóxicos en ambientes laborales, y *A. fumigatus* asociado a toxinas que pueden ser citotóxicas (INSHT, 2014; Llorca, et. al., 2013); otros taxones relevantes son *Acremonium sp* considerado alérgico, *Cladosporium sp* asociado a sustancias inmunodepresoras (INSHT, 2014), y *Geotrichum sp*, un hongo cosmopolita ampliamente distribuido y oportunista. La concentración más alta corresponde a *A. fumigatus*, sin embargo dentro de estos valores se resalta el hecho que los valores reportados son inferiores a los reportados por Schlosser et al. (2016) quien reportó promedios geométricos de 9300 UFC/m³. Otros géneros que se presentaron pero en bajas concentraciones en función de los demás, corresponde a *Penicillium sp*, de gran interés por estar asociado a dermatitis y afecciones respiratorias (Hurst et al., 2007; Llorca, et. al., 2013) y *fusarium sp*, que en ocasiones genera rinitis y asma alérgica (INSHT, 2014) (ver figura 5.9).

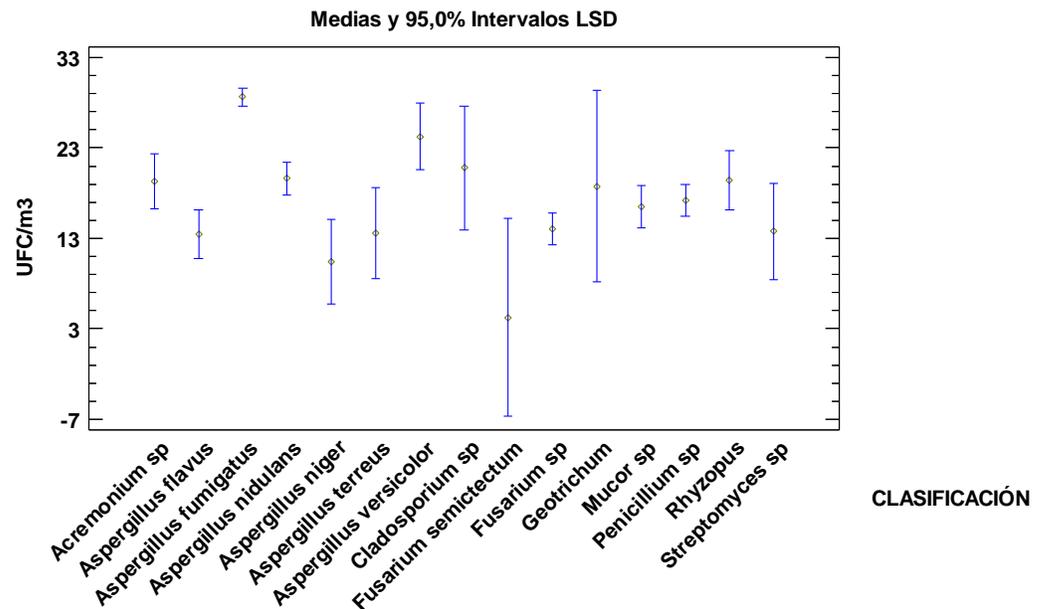


Figura 5. 9. Concentración de bioaerosoles fúngicos en relación los taxones encontrados. Fuente: el autor, 2016.

5.5 Estimación del riesgo por exposición a agentes biológicos

5.5.1 Determinación de los puestos a evaluar

Para realizar la evaluación se consideraron dentro de un mismo puesto, aquellos trabajadores cuya asignación de tareas y entorno de trabajo determinan una elevada homogeneidad respecto a los riesgos existentes, al grado de exposición y a la gravedad de las consecuencias de un posible daño. Se han identificado dos tipos de cargos:

- **Personal operario de celda activa y piscina de lixiviado:** tienen un horario laboral de 12 horas durante 5 días, incluye operarios de la celda activa, personal de manejo de la piscina de lixiviado, operador de la excavadora y aplanadora de celda activa, personal técnico mecánico y seguridad.
- **Personal administrativo y supervisores:** tienen un turno de 8 horas durante 5 por semana, incluye personal administrativo, supervisores, conductores y obras civiles.

Para efectos del presente trabajo puesto a evaluar corresponden a: **operario de celda activa y piscina de lixiviado**

5.5.2 identificación del agente implicado: microorganismo centinela

Para este ítem se implementaron los criterios definidos por Llorca, *et. al.*, 2013, para la selección de microorganismos centinelas bajo el método BIOGAVAL, para la utilización de la modalidad simplificada de evaluación, justificada en el conocimiento de la actividad, el proceso de trabajo y siendo la exposición evaluada representativa del conjunto de microorganismos. Para efectos de ítem se optó por evaluar como microorganismo criterio o centinela la exposición a *Aspergillus fumigatus* y *Penicillium* sp ya que se encuentran contemplado en la *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos* en el **apéndice 14. Riesgo Biológico En Unidades De Eliminación De Residuos** (INSHT, 2014), a su vez es contemplado por el Manual práctico para la evaluación del riesgo biológico en actividades laborales diversas. BIOGAVAL

Tabla 5. 4. Criterios adoptados para la selección de microorganismos centinela bajo la metodología BIOGAVAL, 2013.

CRITERIO	CUMPLE	JUSTIFICACION
Estar habitualmente presente en la actividad que se está evaluando	SI	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos en el apéndice 14. Riesgo Biológico En Unidades De Eliminación De Residuos ▪ Manual práctico para la evaluación del riesgo biológico en actividades laborales diversas. BIOGAVAL; Trabajos En Instalaciones Depuradoras De Aguas contemplado por la etapa de piscina de lixiviados
Transmitirse por vía aérea o pertenecer a los grupos 3 ó 4 de clasificación de microorganismos	SI	Es considerado un bioaerosol fungí reportado por diferentes autores institucionales y académicos (Hurst et al., 2007 INSHT, 2014; Llorca, et. al., 2013; Vélez, 2011, entre otros)
Que la adopción de medidas higiénicas, reduzca su nivel de riesgo biológico (R) en la actividad considerada por debajo del límite de exposición biológica (LEB = 17), es decir, $R < 17$	SI	Guía de protección respiratoria contra bioaerosoles: Recomendaciones sobre su selección y uso (IRSST, 2007): establece el nivel de tolerancia de fondo de 10.000 UFC/m ³ , propone un factor de protección mientras que BIOGAVAL, establece una serie de medidas higiénicas.

Fuente: autor.

Adicional a los criterios anteriormente expuestos, los dos taxones se presentaron en la medición ambiental de bioaerosoles, sin mencionar que estos están asociados a infecciones de tipo respiratoria y dermatitis, respectivamente, casos presentados en el histórico de incapacidades de salud ocupacional entregados por la organización.

5.5.3 Cuantificación de las variables determinantes del riesgo

Clasificación del daño: La tabla 5.5 presenta los datos de cuantificación del daño, según el **Manual De Tiempos Óptimos De Incapacidad Laboral** (ISS, 2011), el daño de las infecciones respiratorias agudas y la dermatitis atópica corresponde a incapacidad temporal menor de 30 días pero que puede tener secuela sobre el paciente.

Tabla 5. 5. Resultados de clasificación del daño

MICROORGANISMO CENTINELA	MANUAL DE TIEMPOS OPTIMOS DE INCAPACIDAD LABORAL	DAÑO	PUNTUACIÓN
INFECCIONES RESPIRATORIAS, BRONQUITIS, FARINGITIS, U OTRAS <i>Aspergillus fumigatus</i>	10 días	I.T. menor de 30 días, con secuela	3
DERMATITIS ATOPICA, URTICARIA ALERGICA, U OTRAS Penicillium sp	14 días	I.T. menor de 30 días, con secuela	3

Vía de transmisión: La tabla 5.6 la puntuación según la vía de transmisión, *Aspergillus fumigatus* y *Penicillium sp* tienen la puntuación más alta por tener una vía de transmisión aérea.

Tabla 5. 6. Resultados de clasificación vía de transmisión

MICROORGANISMO CENTINELA	VIA DE TRANSMISIÓN	PUNTUACIÓN
INFECCIONES RESPIRATORIAS, BRONQUITIS, FARINGITIS, U OTRAS: <i>Aspergillus fumigatus</i>	Aérea	3
DERMATITIS ATOPICA, URTICARIA ALERGICA, U OTRAS: <i>Penicillium sp</i>	Aérea	3

Tasa de incidencia del año anterior: para efectos de este trabajo se analizó el año comprendido entre abril de 2015 y abril de 2016 correspondiente a los meses de monitoreo. Para dermatitis atópica y urticaria, los datos para calcular la tasa de incidencia corresponde al número de casos incapacidades en relación al número de operarios en función del año anterior, es decir desde marzo de 2014 a marzo de 2015, los cuales fueron suministrados por la organización (Ver Tabla 5.7).

Tabla 5. 7. Resultados de clasificación tasa de incidencia en la población

MICROORGANISMO CENTINELA	TASA DE INCIDENCIA	INCIDENCIA / 100.000 HABITANTES	PUNTUACIÓN
INFECCIONES RESPIRATORIAS, BRONQUITIS, FARINGITIS, U OTRAS <i>Aspergillus fumigatus</i>	16.000	≥ 1000	5
DERMATITIS ATOPICA, URTICARIA ALERGICA, U OTRAS <i>Penicillium sp</i>	12.000	≥ 1000	5

Fuente: autor, 2016.

Frecuencia de realización de las tareas de riesgos: Este factor evalúa el contacto en el tiempo y el espacio entre el trabajador y los diferentes agentes biológicos objeto de la evaluación. Para ello, se calculó el porcentaje de tiempo de trabajo en que éstos se encuentran en contacto con los distintos agentes biológicos objeto de análisis, descontando del total de la jornada laboral (12 horas) y el tiempo empleado en descansos (1 hora); obteniendo una calificación de 5 por presentar un porcentaje de Habitualmente > 80 % del tiempo.

Vacunación: para el caso *Aspergillus fumigatus* y *Penicillium sp* existen diferentes tratamientos inmunológicos para personas alérgicas, sin embargo para efectos de la metodología, se calificó con 5 esta variable ya que no exista vacuna completamente eficaz.

Medidas higiénicas: conforme a los resultados de la encuesta se obtuvo una corrección por medidas higiénicas de -2 con un total de 83,2% de medidas afirmativas (Ver tabla 5.8).

Tabla 5. 8. Puntuación para resultado de las medidas higiénicas adoptadas

RESPUESTAS AFIRMATIVAS	PUNTUACIÓN
------------------------	------------

RESPUESTAS AFIRMATIVAS	PUNTUACIÓN
80 - 95 %	- 2

Fuente: autor, 2016.

5.5.4 Cálculo del nivel de riesgo biológico (R)

A continuación se presenta el cálculo del nivel de riesgo de los microorganismos centinela, en función del cálculo de las variables (ver Matriz en anexo B, ver tabla 5.9)

Tabla 5. 9. Calculo del nivel de riesgo biológico

MICROORGANISM O CENTINELA	D	COR. MED. H.	D*	V	T	COR. MED. H.	T*	I	F	R
<i>Aspergillus fumigatus</i>	3	2	1	5	3	2	1	5	5	16
Penicillium sp	3	2	-1	5	3	2	1	5	5	16

D*=daño corregido

T*= Vía de trasmisión corregido

R = Nivel de riesgo.

D = Daño tras su minoración con el valor obtenido de las medidas higiénicas.

V = Vacunación.

T = Vía de transmisión (habiendo restado el valor de las medidas higiénicas).

I = Tasa de incidencia.

F = Frecuencia de realización de tareas de riesgo.

5.5.5 Interpretación de los niveles de riesgo biológico

Conforme a los resultados obtenidos en ambos casos se obtuvo una valoración de Los citados niveles han sido situados en Nivel de acción biológica (NAB) = 12. **Valores superiores requieren la adopción de medidas preventivas para reducir la exposición (Llorca, et. al., 2013).**

Lo cual indica que se deben adoptar medidas preventivas para reducir el riesgo de adquirir faringitis, bronquitis u otras infecciones agudas de las vías respiratorias; también se deberán adoptar medidas preventivas orientadas a reducir el riesgo de adquirir dermatitis u otras infecciones de la piel.

Este tipo de mediciones son importantes no únicamente desde el punto de salud ocupacional, sino también desde el punto de vista de salud pública, ya que es importante recalcar, que adicional a la incidencia directa de las emisiones en las comunidades aledañas (Sánchez-Monedero et al., 2006), hay una segunda ruta de dispersión de los aerosoles biológicos por medio de vectores, siendo los más

representativos los operarios de las actividades de riesgo, en menor probabilidad las comunidades aledañas, creando nuevos focos epidemiológicos en lugares (Camargo et. al, 2011).

El estudio desarrollado por Sánchez-Monedero demostró que las concentraciones de bioaerosoles no presentaron mayor diferencia a una distancia de referencia de 200 m, manifestando que no era suficiente ésta distancia para reducir los microorganismos a los niveles de fondo; por su parte la Agencia de Medio Ambiente recomienda una distancia límite de al menos 250 m, para garantizar que las plantas de compostaje no tengan ningún impacto adverso en la salud de las personas que viven en el área de influencia (Environment Agency, 2001). Sin embargo, otros autores han medido concentraciones superior a la de fondo, a una distancia de 500 m o más de los sitios de compostaje (Miller, et. al, 2002; Wathes, C.M., 1998; Schlegelmilch et al., 2005), demostrando que el radio de acción para el decaimiento de la concentración de forma natural puede requerir una distancia amplia (Schlegelmilch et al., 2005).

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

El estudio permitió evaluar el comportamiento de aerosoles fúngicos asociados al relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos, ubicado a 5Km del Corregimiento de 4 bocas, Municipio de Tubará, Departamento del Atlántico. A nivel general, las concentraciones aerosoles fúngicos obtenidas para las 12 campañas de monitoreo, se encuentran por debajo de los valores máximos reportados por otras investigaciones, las cuales reportan intervalos 17-480.000 UFC/m³ (Flores et al., 2007; Malecka-Adamowicz et al., 2007; Vélez-Pereira & Camargo, 2009; Kalwasinska & Burkowska, 2013; Schlosser et al., 2016). Así mismo, las concentraciones en la celda activa son inferiores a los valores reportados por otros estudios, en los cuales se reportan intervalos entre 59 y 480.000 UFC/m³ (Flores et al., 2007; Malecka-Adamowicz et al., 2007; Vélez-Pereira & Camargo, 2009; Schlosser et al., 2016). Para el caso de la estación ubicada entre las piscinas de lixiviados, las concentraciones son inferiores a las reportadas por Camargo et al. (2011). En cuanto a la clasificación de los aerosoles fúngicos, fueron identificados 15 taxones, los identificados corresponden a *Acremonium sp.*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus mucor*, *Aspergillus nidulans*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus versicolor*, *Cladosporium sp.*, *Fusarium semitectum*, *Fusarium sp.*, *Geotrichum*, *Penicillium sp.*, *Rhizopus* y *Streptomyces sp.*

La distribución espacio-temporal presentada a través de los planos de isoconcentración cinética, no presentan cambios bruscos en las concentraciones, exceptuando concentraciones más elevadas en la campaña 1 en la celdas pasiva 1 durante la jornada de la mañana, y la campaña 9 en la celda activa durante la jornada de la tarde; en ambos casos la dirección del viento predominante fue de noroeste, la temperatura comprendida entre los 28 y 31°C, una humedad relativa de 74 y 76% y una velocidad del viento de 2,1 y 4,9 m/s, respectivamente. La distribución espacial y temporal de la concentración de los aerosoles fúngicos está influenciada a las condiciones meteorológicas del área de estudio, (Rosas et al., 2004 y Vélez-Pereira & Camargo, 2009), especialmente con los flujos y la modulación meteorológica la cual se ve afectada por procesos de deposición húmeda y seca, viento y corrientes de convección. No obstante el análisis estadístico de regresión lineal generalizado para efectos meses monitoreados, indica que las variables velocidad del viento (valor p = 0,1422), dirección del viento (valor p = 0,5028) y jornada (valor p 0,0936) no resultaron significativas en función de la concentración; mientras que las variables campaña, etapa, clasificación, temperatura y humedad relativa presentaron una correlación estadísticamente significativa con P-valor=0 la concentración. Sin embargo, el análisis sólo explica el 10,18% de la variabilidad presentada por la concentración, lo indica que la interacción entre las variables no es suficiente para mostrar un modelo de

predicción de crecimiento de bioaerosoles fungí, lo cual puede atribuirse a que el crecimiento microbiano no sólo se ve influenciado no solo por factores climáticos sino también por factores microbiológicos condicionando su supervivencia y dispersión en el aire (Rosas, et al., 2004).

En cuanto a la concentración en función las estaciones, se observa un comportamiento similar para las tres estaciones de monitoreo de Celda pasiva 1, la piscina de lixiviados y la Celda activa, en menor grado las concentraciones de la Celda pasiva 2. Teniendo en cuenta la concentración por etapas del impactador de cascada, los aerosoles fungí tendieron a concentrarse en mayor medida en la etapa 3, 4 y 5 correspondiente a los bronquios primarios, bronquios secundarios y terminales, lo cual se encuentra directamente asociado al diámetro de la etapa y el tamaño de las partículas (4,7 μm a 1,1 μm) en correspondencia a lo reportado en estudios antecedentes (Rodríguez et al., 2005; Vélez-Pereira et al., 2010). La acumulación de estos aerosoles fungí en bronquios pueden provocar diversas enfermedades alérgicas, respiratorias crónicas e infecciosas (Rodríguez et al., 2005; Sánchez-Monedero et al., 2006; Vélez-Pereira et al., 2010; Jonsson et al., 2014).

En cuanto a los taxones identificados, se presentó una mayor predominancia del género *Aspergillus*: *A. fumigatus*, *A. versicolor*, reportados como alérgicos y tóxicos en ambientes laborales, y *A. fumigatus* asociado a toxinas que pueden ser citotóxicas (INSHT, 2014; Llorca, et. al., 2013); otros taxones relevantes son *Acremonium sp* considerado alérgico, *Cladosporium sp* asociado a sustancias inmunodepresoras (INSHT, 2014), y *Geotrichum sp*, un hongo cosmopolita ampliamente distribuido y oportunista. La concentración más alta corresponde a *A. fumigatus*, sin embargo dentro de estos valores se resalta el hecho que los valores reportados son inferiores a los reportados por Schlosser et al. (2016) quien reportó promedios geométricos de 9300 UFC/m³. Otros géneros que se presentaron pero en bajas concentraciones en función de los demás, corresponde a *Penicillium sp*, de gran interés por estar asociado a dermatitis y afecciones respiratorias (Hurst et al., 2007; Llorca, et. al., 2013) y *fusarium sp*, que en ocasiones genera rinitis y asma alérgica (INSHT, 2014).

Conforme a lo establecido por la guía colombiana: *Guía técnica para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional para el proceso de evaluación en la calificación de origen de enfermedad* (Gutiérrez-Strauss, 2011), a través de la cual Minsalud sugiere como metodología para la estimación del riesgo biológico la adopción de los lineamientos del INVASSAT: **Manual práctico para la evaluación del riesgo biológico en actividades laborales diversas. BIOGAVAL**, se evaluó el riesgo a exposición biológica considerando que la actividad del relleno no manipulan deliberadamente agentes biológicos, pero en la que los trabajadores se hallan expuestos a los riesgos que se derivan de la presencia de microorganismos. Este método tuvo en cuenta: la clasificación de la variable, la vía de trasmisión, tasa de incidencia, la frecuencia de las tareas, la vacunación y las medidas higiénicas adoptadas. La actualización del 2013, establece la adopción de una metodología simplificada “microorganismos centinelas” como referentes de la exposición, microorganismos presentes habitualmente en la actividad a evaluar y representativos del daño más frecuente capaz de originar (Llorca, et. al., 2013).

Para efectos del presente trabajo, el puesto a evaluar correspondió a un **operario de celda activa y piscina de lixiviado**, con un horario laboral de 12 horas durante 5 días, incluye operarios de la celda activa, personal de manejo de la piscina de lixiviado, operador de la excavadora y aplanadora de celda activa, teniendo en cuenta que la asignación de tareas y entorno de trabajo determinan una elevada homogeneidad respecto a los riesgos existentes, al grado de exposición y a la gravedad de las consecuencias de un posible daño. Como microorganismo criterio o centinela la exposición a *Aspergillus fumigatus* y *Penicillium* sp ya que se encuentran contemplado en la *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos* en el **apéndice 14. Riesgo Biológico En Unidades De Eliminación De Residuos** (INSHT, 2014), a su vez es contemplado por el Manual práctico para la evaluación del riesgo biológico en actividades laborales diversas. BIOGAVAL. Adicionalmente, corresponden a dos taxones identificados en la medición ambiental de bioaerosoles, sin mencionar que estos están asociados a infecciones de tipo respiratoria y dermatitis, casos presentados en el histórico de incapacidades de salud ocupacional entregados por la organización. Por su parte, la clasificación del daño se realizó teniendo en cuenta el Manual De Tiempos Óptimos De Incapacidad Laboral (ISS, 2011), el daño de las infecciones respiratorias agudas y la dermatitis atópica corresponde a incapacidad temporal menor de 30 días pero que puede tener secuela sobre el paciente; según la vía de transmisión, *Aspergillus fumigatus* y *Penicillium* sp tienen la puntuación más alta por tener una vía de transmisión aérea.

La frecuencia de realización de las tareas de riesgos por parte de los operarios del relleno es habitual, es decir > 80 % del tiempo, ya que tienen una jornada laboral (12 horas) y el tiempo empleado en descansos (1 hora). En cuanto a la variable de vacunación es importante recalcar que existen diferentes tratamientos inmunológicos para personas alérgicas, sin embargo para efectos de la metodología, se calificó con 5 esta variable ya que no existe una vacuna completamente eficaz. Conforme a los resultados de la encuesta se obtuvo un factor de corrección por medidas higiénicas de -2 con un total de 83,2% de medidas afirmativas, y que se descontó del daño y la vía de transmisión en el cálculo del riesgo a exposición biológica. Conforme a los resultados obtenidos en ambos casos se obtuvo una valoración situada en Nivel de acción biológica **(NAB) = 12. Valores superiores requieren la adopción de medidas preventivas para reducir la exposición (Llorca, et. al., 2013)**. Lo cual indica que se deben adoptar medidas preventivas para reducir el riesgo de adquirir faringitis, bronquitis u otras infecciones agudas de las vías respiratorias; también se deberán adoptar medidas preventivas orientadas a reducir el riesgo de adquirir dermatitis u otras infecciones de la piel.

Este tipo de mediciones son importantes no únicamente desde el punto de salud ocupacional, sino también desde el punto de vista de salud pública, ya que es importante recalcar, que adicional a la incidencia directa de las emisiones en las comunidades aledañas (Sánchez-Monedero et al., 2006), hay una segunda ruta de dispersión de los aerosoles biológicos por medio de vectores, siendo los más representativos los operarios de las actividades de riesgo, en menor probabilidad las comunidades aledañas, creando nuevos focos epidemiológicos en lugares (Camargo et. at, 2011).

6.2 Recomendaciones

Dado que no existen antecedentes de investigaciones desarrolladas en el área de estudio, se recomienda evaluar las concentraciones de bioaerosoles fungí por un periodo superior a un año, incluyendo factores climáticos como índice de calor, punto de rocío, bulbo húmedo, presión barométrica, altitud, entre otros, con el fin de que dichos datos sean útiles al momento de implementar medidas mitigación y pueda desarrollarse un modelo estadístico de predicción de dispersión y crecimiento en el área de influencia.

Debería incluirse estaciones de monitoreo en el área circundante del relleno, especialmente en zonas de abundante vegetación ya que las concentraciones de bioaerosoles fungí pueden verse afectadas, por la influencia de fuentes potenciales de emisión. También se deberían realizar monitoreos en la jornada nocturna, acorde a los turnos de 12 horas y la continuidad en horario de las labores del relleno.

Se desea incluir en la investigación, la evaluación del comportamiento de aerobacterias, ya que hay numerosas enfermedades bacterianas transmitidas por el aire y bibliografía que asocia la presencia de bacterias patógenas en rellenos sanitarios, plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros. En lo concerniente con los medios de cultivo, podría implementarse agares selectivos, lo cual facilitará la identificación de las especies de aerosoles fúngicos y aerobacterias que pueden causar enfermedades respiratorias al ser humano. Adicionalmente, podrían incluirse monitoreo de micotoxinas, ya que existen agentes capaces de producir toxinas (exotoxinas) que son las responsables de la sintomatología asociada a la enfermedad que causan, aunque esto representa un incremento significativo en los costos del proyecto.

En cuanto a la evaluación del riesgo por exposición a agentes biológicos en el relleno, los resultados indican que debe promoverse de forma más insistente, el uso de elementos de protección personal, tales como gafas, guantes, tapabocas, el uso de camisa manga larga, entre otras; ubicar puntos de atención médica, y de ser posible revisar temas relacionados con la duración de los turnos de trabajo. La evaluación del riesgo deberá repetirse periódicamente y, en cualquier caso, cada vez que se produzca un cambio en las condiciones que pueda influir en la exposición de los trabajadores a bioaerosoles, teniendo en cuenta que se sospecha que algunas infecciones y enfermedades respiratorias y de la piel, adquiridas por los trabajadores están asociada a su labor en el

relleno. Se recomienda no realizar riegos de suelos descapotados con agua de lixiviado, ni el lavado de los camiones.

Teniendo en cuenta la predominancia del viento durante los monitoreos, es conveniente ubicar estaciones de monitoreo en el área de influencia directa correspondiente al corregimiento de Cuatro Bocas, inclusive recolectar información epidemiológica con el fin de estudiar si hay correlación de la presencia de bioaerosoles con las afectaciones respiratorias existentes; esto se justifica en los resultados obtenidos de la inmisión de partículas en las diferentes etapas del sistema respiratorio humano, llegando inclusive a alveolos, partículas que al ser de menor tamaño facilita su dispersión.

Finalmente, es conveniente llevar a cabo investigaciones para la evaluación de bioaerosoles en ambientes relacionados, como estaciones depuradoras de aguas residuales, plantas de compostaje, entre otros, con el fin de realizar comparaciones de las concentraciones de estas partículas en distintos ambientes que pueden ser focos emisores relevantes en el Departamento del Atlántico.

Bibliografía

1. Adhikari, A., Sen, M.M., Gupta-Bhattacharya, S., & Chanda, S. (2004). Airborne viable, non-viable, and allergenic fungi in a rural agricultural area of India: a 2-year study at five outdoor sampling stations. *Science of the Total Environment*, 326, 123-141.
2. AEDHE Asociación de Empresarios del Henares (2008). Riesgos Laborales relacionados con el Medio Ambiente. FUNPRL (Fundación para la Prevención de Riesgos Laborales. Madrid: España.
3. Andache, E.; Castillo, P. (2016) Elaboración de instructivos de Seguridad Industrial para puestos de trabajo basados en un Estudio Aerobiológico del relleno sanitario de la Empresa Pública Municipal Gestión Integral de Desechos Sólidos Ambato. Universidad Técnica de Ambato. Ambato: Ecuador.
4. <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/21686/1/BQ%2083.pdf>
5. Arenas, R. (2011). *Micología médica ilustrada*. Mc Graw Hill, 4ta edición, pp. 10-11.
6. Barlow, D.F. (1972). The effects of various protecting agents on the inactivation of foot-and-mouth disease virus in aerosols and during freeze-drying. *J. Gen. Virol.* 17:281– 288.
7. Ballesteros, Viviana L, Cuadros Urrego, Yicenia, Botero Botero, Silvana, & López Arango, Yolanda. (2008). Biological risk factors in informal recyclers of Medellín city, 2005. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 26(2), 169-177. Retrieved August 13, 2016, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2008000200008&lng=en&tlng=en
8. Barraza (2016). Relación De Las Condiciones Ambientales Con El Comportamiento De Los Aerosoles Fungí En El Corregimiento De Cuatro Bocas, Departamento Del Atlántico.
9. Bauer, H., Fuerhackerb, M., Zibuschkab, F., Schmida, H., & Puxbaum, H. (2002). Bacteria and fungi in aerosols generated by two different types of wastewater treatment plants. *Water Res.* 36 (16), 3965 – 3970.

10. Breza-Boruta, B. (2012). Bioaerosols of the municipal waste landfill site as a source of microbiological air pollution and health hazard. *Ecol. Chem. Eng. A* 19,851–862.
11. Byeon, J.H., Park, C.W., Yoon, K.Y., Park, J.H., & Hwang, J. (2008). Size distributions of total airborne particles and bioaerosols in a municipal composting facility. *Bioresource Technology* 99, 5150-5154.
12. Cabelli, V.J. (1962). The rehydration of aerosolized bacteria: Compounds which enhance the survival of rehydrated *Pasteurella tularensis*. Technical Report 314.
13. Camargo, Y. (2011). Biofiltración: Tecnología Aplicada a Contaminantes Líquidos y Gaseosos. Memorias, Universidad del Magdalena, Grupo GIMSA.
14. Camargo, Y., Henao, D., & Vélez-Pereira, A.M. (2011). Emisiones Atmosféricas de origen biológico. Grupo de investigación Modelación de Sistemas Ambientales. Universidad del Magdalena.
15. Campo M; González, E. (2016). Evaluación de bioaerosoles desde un relleno sanitario en el departamento del Atlántico.
16. CANUP, N, D. (2000) Andersen Viable (Microbial) Particle Sizing Samplers. Operation Manual
17. (TR#76-900042). Andersen Instrument Inc. Smyrna, GA.
18. Copley Scientific (2012). Brochure Copley Scientific. Copley Scientific
19. Cox, C.S., & Wathes, C.M. (1995). *Bioaerosols Handbook*. Lewis Publishers, Boca Raton, Fla.
20. Cutnell, J.D., & Johnson, K.W. (1995). *Physics*. Third edition. John Wiley and Sons.
21. Environment Agency. (Agosto de 2002). Technical guidance on composting operations, Draft for external consultation. Obtenido de www.environment-agency.gov.uk=commondata=105385=compostin.pdf
22. Fang, Z., Ouyang, Z., Hu, L., Wang, X., Zheng, H., & Lin, X. (2005). Culturable airborne fungi in outdoor environments in Beijing, China. *Science of the Total Environment*. 350: 47-58.
23. Flores, F., Pardavé, L., & Valenzuela, I. (2007). Estudio aerobiológico de la zona aledaña al relleno sanitario “San Nicolás”, municipio de Aguascalientes. *Investigación y Ciencia* 15 (37): 13-18.
24. Frączek, K., Różycki, H., & Ropek, D. (2014). Statistical Analyses of Bioaerosol Concentration at Municipal Landfill Site. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 21(2), 229–243. <http://doi.org/10.2478/eces-2014-0018>
25. Gangamma, S. (2014). Characteristics of airborne bacteria in Mumbai urban environment. *Science of the Total Environment* 488–489; 70–74.

26. García, F. 2002. Determinación de material particulado (Bioaerosoles) emitidos desde el relleno sanitario Curva de Rodas en Medellín. *Ingeniería para El Nuevo Milenio* 1: 57-65
27. Gibney, M.J. (2000). Predicting package defects: quantification of critical leak size. Thesis submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University.G
28. Gnanasekharan, V., & Floros, J.D. (1995). A theoretical perspective on the minimum leak size for package integrity evaluation. In Blakistone, B.A., & Harper, C.L. (eds.). *Plastic package integrity testing - assuring seal quality*. IOPP. Herndon, VA.
29. Grisoli, P., Rodolfi, M., Villani, S., Grignani, E., Cottica, D., Berri, A., Picco, A.M., & Dacarro, C. (2009). Assessment of airborne microorganism contamination in an industrial area characterized by an open composting facility and a wastewater treatment plant. *Environmental Research* 109, 135-142.
30. Gutiérrez-Strauss, A. (2011). Guía técnica del para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional para el proceso de evaluación en la calificación de origen de enfermedad. Ministerio de la Protección Social. Colombia: Cogota. ISBN 978-958-8361-71-0
31. Guo, X., Wu, P., Ding, W., Zhang, W., & Li, L. (2014). Reduction and characterization of bioaerosols in a wastewater treatment station via ventilation. *Journal of Environmental Sciences* 26, 1575-1583.
32. Hatch, M. T., & Dimmick, R.L. (1966). Physiological responses of airborne bacteria to shifts in relative humidity. *Bacteriol. Rev.* 30: 597– 603.
33. Heo, K. J., Kim, H. B., & Lee, B. U. (2014). Concentration of environmental fungal and bacterial bioaerosols during the monsoon season. *Journal of Aerosol Science*, 77, 31–37. <http://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2014.07.001>
34. Heo, Y., Park, J., Lim, S. I., Hur, H. G., Kim, D., Park, K. (2010). Size-resolved culturable airborne bacteria sampled in rice field, sanitary landfill, and waste incineration sites. *Journal of Environmental Monitoring*, 12, 1619-1624.
35. Hernandez, A. (1999). Contaminantes Biológicos: Criterios de valoración. Instituto Nacional de Seguridad E Higiene para el Trabajo. NTP 409. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT.
36. Huang, C.Y., Lee, C.C., Li, F.C., Ma, Y.P., Su, H.Y. (2002). The seasonal distribution of bioaerosols in municipal landfill sites: a 3-yr study. *Atmospheric Environment*, 36, 4385–4395.

37. IDEAM. (2005). Atlas climatológico de Colombia. Bogotá, D.C. Págs. 1-219.
38. IDEAM & UPME. (2006). Atlas de viento y energía eólica de Colombia. Bogotá, D.C. Págs. 1-169.
39. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT (2014). Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos. España: Madrid. ISBN: 978-84-7425-813-4.
40. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT. (1996). Contaminantes biológicos: criterios de valoración. Nota Técnica de Prevención NTP-409/1996. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT.). Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. España: Madrid.
41. Instituto Nacional Seguridad Social (2013). Manual de tiempos optimos de incapacidad temporal. Madrid: España.
42. Israelí, E., Gitelman, J., & Lighthart, B. (1994). Death mechanisms in bioaerosols, p. 166– 191. In B. Lighthart and A. J. Mohr, (ed.), Atmospheric Microbial Aerosols. Chapman & Hall, New York.
43. Izzeddin, A., Medina, T., & Rojas, F. (2011). Evaluación de bioaerosoles en ambientes de centros de salud de la ciudad de Valencia, Venezuela. Revista Kasmera, 39 (1), 59-67.
44. Jo, W.K., & Seo, Y.J. (2005). Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes. Chemosphere 61, 1570-1579.
45. Jones, A. M., & Harrison, R. M. (2003). The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentration. Science Direct, Elsevier.
46. Jonsson, P., Olofsson, G., & Torbjörn, T. (2014). Bioaerosol Detection Technologies. Springer http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4419-5582-1_3
47. Kalwasińska, A., & Burkowska, A. (2013). Municipal landfill sites as sources of microorganisms potentially pathogenic to humans. Environmental Science. Processes & Impacts, 15(5), 1078–1086. <http://doi.org/10.1039/c3em30728j>
48. Karra, S., & Katsivela, E. (2007). Microorganisms in bioaerosols emissions from wastewater treatment plants during summer at Mediterranean site. Water Res. 41 (6), 1355 – 1365.
49. Kaźmierczuk, M., & Bojanowicz-Bablok, A. (2014). Bioaerosol concentration in the air surrounding municipal solid waste landfill. Ochrona Środowiska I Zasobów Naturalnych - Environmental Protection and Natural Resources, 25(2), 17–25. <http://doi.org/10.2478/oszn-2014-0015>

50. Korzeniewska, E., Filipkowska, Z., Gotkowska-Plachta, A., Janczukowicz, W., Dixon, B., & Czulowska, M. (2009). Determination of emitted airborne microorganisms from a BIO-PAK wastewater treatment plant. *Water Research* (43): 2841-2851.
51. Lee, J., & Jo, W. (2006). Characteristics of indoor and outdoor bioaerosols at Korean high-rise apartment buildings. *Environmental Research* 101, 11-17.
52. Lenis, V., López, Y.L., & Correa, E. (2013). Aerotransportables biológicos asociados al relleno sanitario La Pradera, Antioquia (Colombia), 2010-2012. En: memorias del IV Congreso Colombiano de Calidad del Aire y Salud Pública. Pág. 562.
53. Li, J., Zhou, L., Zhang, X., Xu, C., Dong, L., & Yao, M. (2015). Bioaerosol emissions and detection of airborne antibiotic resistance genes from a wastewater treatment plant. *Atmospheric Environment*, 1-9.
54. Li, L., Gao, M., & Liu, J. (2011). Distribution characterization of microbial aerosols emitted from a wastewater treatment plant using the Orbal oxidation ditch process. *Process Biochemistry* 46, 910-915.
55. Llorca, J.; Soto, P.; Roberto, G.; Laborda, R. Benavent, S. (2013). Manual práctico para la evaluación del riesgo biológico en actividades laborales diversas BIOGAVAL. Centro Territorial de Valencia del INVASSAT. España: Valencia.
56. Llorca, J.; Soto, P.; Roberto, G.; Laborda, R. Benavent, S. (2004). Manual práctico para la evaluación del riesgo biológico en actividades laborales diversas BIOGAVAL. Centro Territorial de Valencia del INVASSAT. España: Valencia.
57. Madigan, M., Martinko, J., Parker, J. (2004). *Biología de los microorganismos*. Pearson Educacion S.A.
58. Malecka-Adamowicz, M., Kaczanowska, J., Donderski, W. (2007). The impact of a landfill site in Zolwin-Wypaleniska on the microbiological quality of air. *Pol. J. Environ. Stud.* 16, 101–107.
59. Miller, P.A., & Clesceri, N.L. (2002). *Waste Sites as Biological Reactors: Characterization and Modellnig*. CRC Press, Boca Raton.
60. Ministerio del Medio Ambiente MMA (2002). *Guía ambiental de rellenos sanitarios*. Colombia: Programa, Fortalecimiento Institucional para la Gestión Ambiental Urbana – FIGAU.
61. Mohr, A.J. (2002). Fate and transport of microorganisms in air. En: "Manual of Environmental Microbiology", 2nd Edition (Ed: C.J. Hurst). ASM Press, Washington, 827-838.
62. Mota, L., Gibbs, S., Green, C., Payan, F., Tarwater, P., Ortiz, M. (2008) Characterization of seasonal indoor and outdoor bioaerosols in the arid environment of El Paso, Texas. June 2008 • *Journal of Environmental Health* Vol 70, 48-53.

63. Murray, P., Rosenthal, K., & Pfaller, M. (2009). *Microbiología médica*. 6ta edición.
64. Noguera, K., & Olivero, J. (2010). Los rellenos sanitarios en latinoamérica: caso colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 34 (132): 347-356.
65. Pankhurst, L.J., Akeel, U., Hewson, C., Maduka, I., Pham, P., Saragossi, J., Taylor, J., & Lai, K.M. (2011). Understanding and mitigating the challenge of bioaerosol emissions from urban community composting. *Atmospheric Environment* 45, 85 – 93.
66. Pascual, L., Pérez-Luz, S., Yáñez, M.A., Santamaría, A., Gibert, K., Salgot, M. (2003). Bioaerosol emission from wastewater treatment plants. *Aerobiología* 19, 261 - 270.
67. Pepper, I. L., & Gerba, C. P. (2015). Chapter 5 - Aeromicrobiology. In *Environmental Microbiology (Third edition)* (pp. 89–110). San Diego: Academic Press. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123946263000053>
68. Prats, G. (2006). *Microbiología clínica*. Editorial Médica Panamericana. pp. 85-89.
69. Ranalli, G., Principi, P., & Sorlini, S. (2000). Bacterial aerosol emission from wastewater treatment plants: culture methods and bio-molecular tools. *Aerobiología* 16: 39-46.
70. Rey, F.J., & Velasco, E. (2007). *Calidad de ambientes interiores*. Editorial Paraninfo, pp. 41-43.
71. Rodríguez, G.S., Sauri, R.M., Peniche, A.I., Pacheco, A.J., & Ramírez, H.J. (2005). Dispersión de materiales aerotransportables viables en el área de tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales de Mérida, Yucatán. *Ingeniería* 9 (3): 19-29.
72. Rodríguez, J. A., González, J., Magarolas, R., & Martínez, C. (2011). El aire es nuestro: la importancia de mantener su calidad. *Arch Bronconeumol*; 47(Supl 1):23-26
73. Rosas, I., Salinas, E., Martínez, L., Eslava, C., & Cravioto, A. (2004). *Microbiología ambiental*. Primera edición. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT); p. 18.
74. Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Cayuela, M.L. & Stentiford, E.I. (2006). Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos sólidos. *Revista Ingeniería*. Vol. 10, No. 1; p. 39-47.
75. Sánchez-Monedero, M.A., Aguilar, M.I., Fenoll, R. & Roig, R. (2007). Generación de bioaerosoles en estaciones depuradoras de aguas residuales. *Ingeniería* 11-1, 37-42

76. Santos, J., González, C., Barreto, A., & Rojas, A. (2011). Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia- Diagnóstico 2011. Secretaría General Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – SSPD.
77. Schlosser, O., Robert, S., & Debeaupius, C. (2016). *Aspergillus fumigatus* and mesophilic moulds in air in the surrounding environment downwind of non-hazardous waste landfill sites. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*.
78. Srikanth, P., Sudharsanam, S., & Steinberg, R. (2008). Bio-Aerosols In Indoor Environment: Composition, Health Effects And Analysis. *Indian Journal of Medical Microbiology*, 302-312.
79. Stellacci, P., Liberti, L., Notamicola, M., & Haas, C.N. (2010). Hygienic sustainability of site location of wastewater treatment plants: a case study. II. Estimating airborne biological hazard. *Desalination* 253 (1-3), 106 – 111.
80. Sykes, P., Jones, K., & Wildsmith, J. D. (2007). Managing the potential public health risks from bioaerosol liberation at commercial composting sites in the UK: An analysis of the evidence base. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(2), 410–424. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.05.005>
81. Taha, M. P. M., Drew, G. H., Tamer, A., Hewings, G., Jordinson, G. M., Longhurst, P. J., & Pollard, S. J. T. (2007). Improving bioaerosol exposure assessments of composting facilities — Comparative modelling of emissions from different compost ages and processing activities. *Atmospheric Environment*, 41(21), 4504–4519. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.056>
82. Tamer Vestlund, A., Al-Ashaab, R., Tyrrel, S. F., Longhurst, P. J., Pollard, S. J. T., & Drew, G. H. (2014). Morphological classification of bioaerosols from composting using scanning electron microscopy. *Waste Management*, 34(7), 1101–1108. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.01.021>
83. Uk Lee, B., Lee, G., & Joon Heo, K. (2016). Concentration of culturable bioaerosols during winter. *Journal of Aerosol Science*, 94, 1–8. <http://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2015.12.002>
84. Valenzuela, C. (1995). *Química general: introducción a la química teórica*. Universidad de Salamanca, p. 337.
85. Valsan, A. E., Priyamvada, H., Ravikrishna, R., Després, V. R., Biju, C. V., Sahu, L. K., Gunthe, S. S. (2015). Morphological characteristics of bioaerosols from contrasting locations in southern tropical India – A case study. *Atmospheric Environment*, 122, 321–331. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.071>
86. Vargas, A. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*. La Mancha: Universidad de Castilla.

87. Vélez-Pereira, A., & Camargo, Y. (2014). Aerobacterias en las unidades de cuidado intensivo del Hospital Universitario "Fernando Troconis", Colombia. (Spanish). *Revista Cubana De Salud Pública*, 40(3), 362-368.
88. Vélez-Pereira, A. & Camargo, Y. (2009). Evaluación de la concentración de bioaerosoles fungí asociados al relleno sanitario Palangana, Santa Marta Colombia. Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales-GIMSA. Instituto de Investigaciones Tropicales INTROPIC. Universidad del Magdalena.
89. Vilata, J.J. (2006). *Micosis cutáneas*. Editorial Médica Panamericana.
90. Wang, W., Ma, Y., Ma, X., Wu, F., Ma, X., An, L., Feng, H.(2010). Seasonal variations of airborne bacteria in the Mogao Grottoes, Dunhuang, China. *International Biodeterioration & Biodegradation* 64 (2010) 309e315
91. Warren, J.C., Akers, T.G., & Dubovi, E.J. (1969). Effect of prehumidification on sampling of selected airborne viruses. *Appl. Microbiol.* 18: 893– 896.
92. Webb, S. J. (1965). *The Role of Bound Water in the Maintenance of the Integrity of a Cell or Virus*. Charles C Thomas, Publisher, Springfield, Ill.
93. Wei, K., Zou, Z., Zheng, Y., Li, J., Shen, F., Wu, C., ... Yao, M. (2016). Ambient bioaerosol particle dynamics observed during haze and sunny days in Beijing. *Science of The Total Environment*, 550, 751–759. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.137>
94. Wonder Makers Environmental Inc (2001). *Post-Remediation Guidelines*. Information Series. 147.
95. Yao, M & Mainelis, G.(2007). Analysis of Portable Impactor Performance for Enumeration of Viable Bioaerosols. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 4: 514–524
96. Zhu, H., Phelan, P., Duan, T., Raupp, G., Fernando, H. (2003). Characterizations and relationships between outdoor and indoor bioaerosols in an office building. *CHINA PARTICUOLOGY* Vol. 1, No. 3, 119-123.

A. Anexo: encuesta de medidas higiénicas adoptadas

MEDIDA	SI	NO	NO APLICABLE
Dispone de ropa de trabajo			
Uso de ropa de trabajo			
Dispone de Epi's			
Uso de Epi's.			
Se quitan las ropas y Epi's al finalizar el trabajo			
Se limpian los Epi's			
Se dispone de lugar para almacenar Epi's			
Se controla el correcto funcionamiento de Epi's			
Limpieza de ropa de trabajo por el empresario			
Se dispone de doble taquilla			
Se dispone de aseos			
Se dispone de duchas.			
Se dispone de sistema para lavado de manos			
Se dispone de sistema para lavado de ojos			
Se prohíbe comer o beber			
Se prohíbe fumar			
Se dispone de tiempo para el aseo antes de abandonar la zona de riesgo dentro de la jornada			
Suelos y paredes fáciles de limpiar			
Los suelos y paredes están suficientemente limpios			
Hay métodos de limpieza de equipos de trabajo.			
Se aplican procedimientos de desinfección			
Se aplican procedimientos de desinsectación			
Se aplican procedimientos de desratización.			
Hay ventilación general con renovación de aire			
Hay mantenimiento del sistema de ventilación			
Existe material de primeros auxilios en cantidad			
Se dispone de local para atender primeros auxilios			

MEDIDA	SI	NO	NO APLICABLE
Existe señal de peligro biológico			
Hay procedimientos de trabajo que minimicen o eviten la diseminación aérea de los agentes biológicos en el lugar de trabajo			
Hay procedimientos de trabajo que minimicen o eviten la diseminación de los agentes biológicos en el lugar de trabajo a través de fómites			
Hay procedimientos de gestión de residuos			
Hay procedimientos para el transporte interno de muestras			
Hay procedimientos para el transporte externo de muestras			
Hay procedimientos escritos internos para la comunicación de los incidentes donde se puedan liberar agentes biológicos			
Hay procedimientos escritos internos para la comunicación de los accidentes donde se puedan liberar agentes biológicos			
Se realiza periódicamente vigilancia de la salud			
Se toman medidas específicas para el personal especialmente sensible			

B. Anexo: matriz calculo nivel de riesgo por exposición a bioaerosoles fungí.

ESTIMACION DEL RIESGO OPERARIOS DE CELDA ACTIVA O PISCINA DE LIXIVIADO											
MICROORGANISMO CENTINELA	ENFERMEDAD	D	COR. MED. H.	D CORREG	V	T	COR. MED. H.	T CORREG	I	F	R
Aspergillus fumigatus	Infeccion respiratoria aguda, bronquitis, rinofaringitis, u otra	3	2	1	5	3	2	1	5	5	16
Penicillium sp	Penicillium sp	3	2	1	5	3	2	1	5	5	16